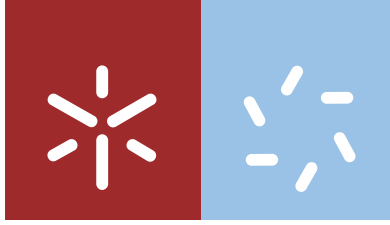


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Rui António Bernardo Monteiro

**Gestão integrada dos recursos hídricos da
região de Fafe: caracterização da qualidade
das águas superficiais; potencial hidrogeológico
das rochas fraturadas**

outubro de 2015



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Rui António Bernardo Monteiro

**Gestão integrada dos recursos hídricos da
região de Fafe: caracterização da qualidade
das águas superficiais; potencial hidrogeológico
das rochas fraturadas**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Geociências
Ramo de Valorização de Recursos Geológicos

Trabalho efetuado sob a orientação da
Doutora Professora Maria do Rosário Melo da Costa
e do
Professor Doutor Jorge Manuel Vieira Pamplona

DECLARAÇÃO

Nome: Rui António Bernardo Monteiro

Número do Bilhete de Identidade: 14106021

Endereço de correio eletrónico: ruibermonteiro@hotmail.com

Título da Dissertação: **Gestão integrada dos recursos hídricos da região de Fafe: caracterização da qualidade das águas superficiais; potencial hidrogeológico das rochas fraturadas**

Orientadores: Doutora Professora Maria do Rosário Melo da Costa e do Professor Doutor Jorge Manuel Vieira Pamplona

Ano de conclusão: 2015

Designação do Mestrado:

Geociências, Ramo de Valorização de Recursos Geológicos

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MÉDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE

Universidade do Minho, 31/10/2015

Assinatura: _____

i. Dedicatória

Para a minha Tia Mia.

“Graças a Deus, muitas! Graças com Deus, poucas.”.

ii. Agradecimentos

O trabalho que se apresenta é o concretizar de uma ambição que só foi possível de realizar por meio de um grupo particular e extraordinário de pessoas, às quais eu quero prestar os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente, quero agradecer aos meus orientadores, à Professora Doutora Maria do Rosário e ao Professor Doutor Jorge Pamplona pela confiança que foi depositada em mim desde o início da dissertação, e pela total disposição no esclarecimento de dúvidas e nas muitas sugestões feitas para o enriquecimento deste trabalho. Agradeço também o espírito de autocrítica e autonomia que me foi inculcado, bem como os incentivos para que o trabalho realizado primasse pelo rigor e pela excelência.

Quero agradecer ao Professor Doutor Luís Gonçalves por desde o início da minha dissertação se ter mostrado voluntarioso em prestar qualquer ajuda necessária e pela execução do ensaio geofísico do Georadar. Não bastasse essa ajuda, quero agradecer também pelas muitas conversas tidas, as quais eu demarco de forma especial por serem carregadas de bons conselhos e bons exemplos que me despertaram o intelecto para questões essenciais da vida académica e da vida pessoal.

Ao Professor Doutor José Manuel Martinho Lourenço da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pela ajuda imprescindível e pelo tempo e trabalho dispendidos na execução do ensaio de resistividade eléctrica (no que respeita à parte operacional, processamento dos dados e elaboração do texto), para além da disponibilização do equipamento. Agradeço ao Doutor Professor Rui Moura da Universidade do Porto pela amabilidade em ceder equipamento fundamental para a realização do ensaio de resistividade eléctrica.

Ao Professor Doutor Renato Henriques pelas muitas horas que me disponibilizou no ensino e no aperfeiçoamento dos SIG e outros softwares fundamentais para a elaboração, compreensão e *layout* final desta dissertação.

A todos os outros docentes do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho que de forma mais ou menos direta contribuíram para este trabalho e pela minha formação na área da Geologia. Deixo um agradecimento especial ao Doutor Alberto Lima como o meu primeiro mentor na área de Hidrogeologia e por ter fomentado em mim o gosto e a vontade de querer ingressar nesta área.

Quero também agradecer À Dra. Lúcia Guise do Laboratório de Águas, do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, a capacidade e o rigor das análises realizadas e ao Doutor António Azevedo do Laboratório de Difração de Raios-X pelos

inesgotáveis momentos de aprendizagem e de troca de sabedorias e experiências que ficam marcadas para uma vida.

Agradeço ao Dr. Francisco Ferreira, presidente do grupo Outeirinho – Turismo e Indústria, S.A e à Eng^a. Clarice pela facilidade e pela simpatia desde a primeira abordagem e pela total colaboração e disponibilidade na partilha de informações e de conhecimentos.

Agradeço ao Sr. Armindo Leite pela cedência do seu terreno para a realização do ensaio geofísico e pela forma como sempre se prestou a partilhar os seus conhecimentos sobre o local que estava a ser estudado.

Quero prestar um profundo e sincero OBRIGADO à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, por serem os meus ídolos e modelos na vida, e me fazerem sentir orgulho na pessoa que sou hoje e espero vir a ser no futuro.

Quero agradecer àqueles que nunca esqueço e que nunca se esquecem de mim, aos meus amigos Alexandra Lopes, Carlos Mendes, João Sousa, Paulo Oliveira, Ricardo Lopes e Roberto Correia que fazem parecer pequenas quaisquer palavras de apreço que lhes possa prestar. Agradeço também a todos os meus outros amigos e colegas que tive o prazer de conhecer e trabalhar nestes 5 anos de formação na Universidade do Minho, e também todos os outros que são importantes na vida.

Por último, e não em último, quero agradecer à minha namorada, Mariana Freitas, por ao longo de quase 6 anos continuar a ser a minha parceira e cúmplice de todos os dias, por ser a fonte de ambição e inspiração dos meus atos e dos meus sonhos.

iii. Resumo

O objetivo deste trabalho foi fazer uma caracterização química das águas superficiais e subterrâneas na região de Fafe, propondo-se para as águas subterrâneas um modelo que viabilizasse o seu aproveitamento para a indústria e população.

As metodologias adotadas assentaram em campanhas de campo a pontos de controlo de água onde se mediram os valores de pH, condutividade elétrica e temperatura, entre os meses de janeiro e junho, tendo sido feitas no último mês análises químicas a amostras que permitiram a caracterização físico-química das águas. No caso das águas superficiais, os pontos de controlo foram em linhas de água na zona urbana de Fafe e da sua periferia, e os pontos de controlo das águas subterrâneas foram nascentes e fontanários, com especial destaque para a freguesia de Silves S. Martinho. A fraturação do meio granítico foi igualmente alvo de estudo, recorrendo-se primordialmente à fotointerpretação, já que o meio fraturado é o preferencial para a circulação das águas subterrâneas no meio geológico em causa. Foi também desenvolvido um estudo geofísico de um local próximo de duas nascentes usando perfis de georadar e resistividade elétrica que visavam demonstrar a relação da fraturação com a possibilidade de serem zonas mais propícias à circulação de água subterrânea.

Os resultados obtidos mostraram que, e salvo casos pontuais, quer as águas superficiais, quer as águas subterrâneas, estavam quimicamente aptas para o consumo humano e uso agrícola. A relevância da fraturação para a circulação de água também ficou bem evidenciada com o modelo concetual obtido.

Recomenda-se para trabalhos futuros a colheita de um maior número de amostras e a realização de diferentes campanhas, a fim de avaliar a variação, ou estabilidade, ao longo do ano, das propriedades da água. Também se sugere a utilização de métodos de prospeção mecânica para validar o modelo concetual e os dados geofísicos.

Palavras-chave: geofísica, hidrogeoquímica, fraturação, gestão recursos hídricos, águas subterrâneas, águas superficiais

iv. Abstract

The goal of this work was to chemically characterize groundwater and surface water in the region of Fafe, using a model for groundwater that could enable an utilization for industry and population.

The methodology adopted settled down on fieldwork in water control points where it was measured the pH, electrical conductivity and temperature, between the months of January and June, and in chemical analysis, made in the last month, using samples that made possible a physical-chemical characterization of the water. In the case of surface water, the control points were waterlines in Fafe's urban zone and periphery, and the control points for groundwater were springs and fountains, with special incidence on Silvaes S. Martinho's parish. The fractures of granitic rocks was equally a point of study, using primordially photointerpretation, because fractured rocks is the preferential for the groundwater movement in the geological environment in cause. It was developed a geophysical study in a local near two springs using GPR profiles and electric resistivity with the objective to show the relation of fractured rocks with the possibility of being preferential zones for groundwater movement.

The obtained results have shown that, and not in every case, the surface water and the groundwater were chemically able for human consume and agricultural activities. The relevance of fractured rocks for the water movement was too well shown with the conceptual model obtained.

It is recommended for future works a collection of a larger number of samples and the completion of fieldwork campaigns, with the intuit to evaluate variation, or stability, throughout the year, of water properties. It's suggested to use mechanical prospection methods to validate the conceptual model and geophysical data.

Keywords: geophysics, hydrogeochemistry, fracturing, management of hydric resources, groundwater, surface water.

v. Índice geral

| | Páginas |
|---|---------|
| i. Dedicatória | iii |
| ii. Agradecimentos | v |
| iii. Resumo | vii |
| iv. Abstract | ix |
| v. Índice geral | xi |
| vi. Índice figuras | xiii |
| vii. Índice tabelas | xv |
| viii. Lista de siglas e abreviaturas | xvii |
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Importância do modelo de gestão integrada no contexto dos recursos hídricos | 2 |
| 3. Aspectos gerais da circulação da água em meio superficial e subterrâneo | 4 |
| 3.1 Águas superficiais e a sua vulnerabilidade a contaminações e outros agentes deterioradores da sua qualidade | 4 |
| 3.2 Circulação da água em meio subterrâneo fraturado | 6 |
| 4. Locais de amostragem e metodologias adotadas | 8 |
| 5. Enquadramento natural da região em estudo | 11 |
| 5.1 Bacia hidrográfica do rio Vizela – análise morfométrica | 11 |
| 5.2 Rede meteorológica e condições pluviométricas | 13 |
| 5.2.1 Estações udométricas | 13 |
| 5.2.2 Balanço hídrico | 15 |
| 5.2.3 Determinação dos polígonos de Thiessen | 18 |
| 5.3 Enquadramento natural | 19 |
| 5.3.1 Descrição geomorfológica | 19 |
| 5.3.2 Descrição geológica | 22 |
| 6. Estudo das águas subterrâneas em meio fraturado | 26 |
| 6.1 Estimativa da recarga subterrânea | 26 |
| 6.1.1 Método de escoamento de nascentes | 26 |
| 6.1.2 Balanço de cloretos | 28 |
| 6.2 Caracterização hidrogeoquímica | 30 |
| 6.2.1 Verificação da precisão analítica das análises | 30 |
| 6.2.2 Parâmetros de campo | 34 |

| | | |
|---------|---|----|
| 6.2.3 | Silício | 36 |
| 6.2.4 | Alcalinidade e dureza | 37 |
| 6.2.5 | Mineralização total | 37 |
| 6.2.6 | Composição vestigiária | 38 |
| 6.2.7 | Composição maioritária | 39 |
| 6.2.7.1 | Classificação química | 39 |
| 6.2.7.2 | Especiação | 41 |
| 6.2.7.3 | Estudo equilíbrio água-rocha | 42 |
| 6.2.7.4 | Análise da correlação dos elementos | 43 |
| 6.3 | Ensaio geofísico em terreno granítico para verificação das condições hidrogeológicas e estruturais do subsolo | 43 |
| 6.3.1 | Resistividade elétrica | 43 |
| 6.3.2 | Georadar | 45 |
| 6.3.3 | Relação dos dados geofísicos e considerações finais sobre os resultados obtidos | 47 |
| 6.4 | Modelo geológico simplificado (para prospeção hidrogeológica) | 48 |
| 7. | Avaliação da qualidade química das águas superficiais | 49 |
| 8. | Avaliação da qualidade da água para diversos fins: comparação das características químicas da água com os valores apresentados na legislação portuguesa | 52 |
| 9. | Considerações finais | 54 |
| 10. | Bibliografia | 58 |
| Anexos | | 59 |
| | Anexo 1– figuras | 61 |
| | Anexo 2- tabelas | 71 |

vi. Índice figuras

| | Páginas |
|--|---------|
| Figura 1- Bacia hidrográfica rio Vizela com a ordem de canais segundo o sistema de Strahler. Coordenadas WGS84 / UTM zone 29N. | 13 |
| Figura 2- Localização das estações udométricas e polígonos de Thiessen. Coordenadas WGS84 / UTM zone 29N. | 14 |
| Figura 3- Balanço hídrico para a estação de Fafe (P – precipitação; ETP - evapotranspiração potencial; ETR – evapotranspiração real) para o período de 1932/2000. | 16 |
| Figura 4- Valores de precipitação da estação de Fafe entre os anos de 1932/2000, segundo o valor médio das precipitações anuais – 1672.5 mm. | 17 |
| Figura 5- a) Mapa hipsométrico do concelho de Fafe. Projeção retangular de gauss Elipsoide de Hayford, Datum Lisboa Coordenadas Hayford - Gauss. Fonte: IPG (2008); b) - Histograma da altimetria do concelho de Fafe. | 20 |
| Figura 6- Mapa geológico do concelho de Fafe, produzido pelo INETTI (2014), com a respetiva legenda. | 23 |
| Figura 7- a). Diagrama em roseta das direções das fraturas; b). Diagrama em roseta das direções das linhas de água. Diagramas estabelecidos a partir da análise da Figura 6. Diagramas gerados a partir do software Georose. | 24 |
| Figura 8- Lineamentos fotointerpretados a partir de mapeamento altimétrico e com os pontos de controlo das águas subterrâneas assinalados. Coordenadas WGS 84 / UTM zone 29N. | 26 |
| Figura 9- Apresentação das áreas de recarga das nascentes. Coordenadas WGS 84 / UTM zone 29 | 28 |
| Figura 10– Valores dos erros balanço de cargas (%) referentes aos resultados analíticos das amostras. | 32 |
| Figura 11- Valores da relação CEC/CEm dos resultados analíticos das amostras. | 33 |
| Figura 12- Valores da relação TSDc/CEm dos resultados analíticos das amostras. | 33 |
| Figura 13- Parâmetros de campo registados. a).pH; b). Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); c). Temperatura ($^{\circ}\text{C}$). | 35 |
| Figura 14– Valores de Si (mg/L) nas amostras. | 36 |
| Figura 15- Percentagem de Si no total da mineralização para cada amostra. | 36 |
| Figura 16- Diagrama de dispersão dos teores de silício e de bicarbonato das amostras. | 37 |
| Figura 17 Valores da mineralização total das amostras. | 38 |

| | |
|---|----|
| Figura 18– Diagrama de dispersão dos teores de fósforo e cálcio das amostras. | 39 |
| Figura 19- Projeção da composição química das 12 amostras no diagrama de Schoeller (gráfico gerado no software Aquachem). | 40 |
| Figura 20- Projeção da composição química das 12 amostras em diagrama de Piper (gráfico gerado no software Aquachem). | 41 |
| Figura 21- Compilação dos perfis de Georadar e de resistividade elétrica. | 48 |
| Figura 22- Modelo geológico concetual com base na fotointrepretação de lineamentos. Coordenadas WGS84 / UTM zone 29N. | 49 |
| Figura 23- Diagrama circular das concentrações aniônicas em mg/L das 10 amostras submetidas a análise. | 51 |
| Figura 24– Diagrama de dispersão da relação CE/Cl^- . | 52 |

vii. Índice tabelas

| | Páginas |
|--|---------|
| Tabela 1- Impactos de atividades agrícolas sobre as linhas de água superficiais (adaptado a partir de Ongley, 1986). | 5 |
| Tabela 2- Locais de amostragem para o estudo da água subterrânea. | 8 |
| Tabela 3- Locais de amostragem para o estudo das linhas de água superficiais. | 9 |
| Tabela 4- Datas das campanhas de campo para o estudo das águas subterrâneas. | 10 |
| Tabela 5- Datas das campanhas de campo para o estudo das linhas de água superficiais. | 11 |
| Tabela 6- Caracterização morfométrica da bacia do rio Vizela (síntese). | 12 |
| Tabela 7- Estações com séries incompletas e anos em falta. | 14 |
| Tabela 8- Estudo da pluviosidade para a estação de Fafe. | \7 |
| Tabela 9- Apresentação dos dados relativos à determinação da precipitação média ponderada pelo método dos polígonos de Thiessen. | 18 |
| Tabela 10- Cálculo da recarga subterrânea a partir de dados de esgotamento de nascentes. | 28 |
| Tabela 11- Cálculo da recarga subterrânea a partir do método de balanço de cloretos. | 29 |

viii. Lista de siglas e abreviaturas

CEc- condutividade elétrica calculada

CEm- condutividade elétrica medida

EBC- erro balanço de cargas

GIRH- gestão integrada dos recursos hídricos

INETI- Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

LA- Lei da Água

SNIRH- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

TSDc- total de sólidos dissolvidos calculados

TSDm- total de sólidos dissolvidos medidos

VMA- valor máximo admitido

VMR- valor máximo recomendado

1. Introdução

A água é um recurso natural essencial à vida e, por isso, também ao Homem. A sua preponderância é tal que a fixação do homem se desenvolveu em torno da água, desde assentamentos primitivos no litoral ou próximos a corpos de água, até modernas cidades que foram fundadas na confluência de rios. Algumas das grandes civilizações da história surgiram ao longo de vales de rios, que lhes forneciam água para consumo, práticas agropecuárias e perspetivavam a possibilidade de prosperarem. Poucos milhares de anos separam esses tempos dos nossos, mantendo-se inalterada a necessidade de água, mas modificando-se o paradigma do seu consumo.

Nos séculos XVIII e XIX, período da Revolução Industrial, a sociedade tornou-se numa sociedade de consumo, sendo alimentada pela indústria que não via meios de satisfazer as necessidades sempre crescentes dos consumidores. Os prejuízos e impactos negativos deste fenómeno para a natureza só se tornaram um facto presente para a sociedade durante a segunda metade do século XX. A partir desta altura, começou-se a falar dos perigos das atividades industriais para a natureza e da sobre-exploração dos recursos naturais, e como essas práticas poderiam comprometer a manutenção da qualidade de vida de uma geração e de gerações vindouras. Até aos dias de hoje, têm vindo a ser implementadas políticas e medidas protecionistas do meio ambiente, assegurando igualmente que as populações vissem as suas necessidades satisfeitas, se bem que continuam a existir casos de violações graves da qualidade dos recursos naturais por certas atividades humanas. Como não podia deixar de ser, a água é um recurso que tem de ser continuamente protegido e estar disponível ao homem com qualidade, para dessa forma não trazer malefícios para a saúde, nem prejuízos para as atividades socioeconómicas, nas quais é imprescindível.

Este trabalho surge no âmbito de tentar aferir a qualidade química das águas superficiais na região de Fafe, tentando avaliar se existe algum tipo de contaminação e se a qualidade com que esta chega ao consumidor é a qualidade requerida para os fins a que pode ser destinada. As águas subterrâneas serão também objeto de estudo, com o objetivo de serem caracterizadas e avaliadas, com vista ao seu eventual aproveitamento.

2. Importância do modelo de gestão integrada no contexto dos recursos hídricos

A partir da segunda metade do século XX, em Portugal e nos demais países industrializados, começou a acentuar-se uma tendência de crescimento industrial e urbanístico, bem como da população. Este aumento populacional foi proporcionalmente acompanhado pelo consumo e uso da água, acentuando-se, com o passar do tempo, uma cada vez maior carga de poluentes a chegar a massas de águas superficiais e subterrâneas.

Terá sido então nesta altura que se começou a pensar em planos de gestão integrada de recursos hídricos (GIRH) para oferecer à população as quantidades de água que eram requeridas para práticas industriais e agrícolas, bem como para uso doméstico. As primeiras medidas tomadas foram a construção de barragens e de outras estruturas de retenção de água nos cursos de água, e implementação de furos para extração das águas subterrâneas. A GIRH é um conceito mutável, que viu a necessidade de incorporar anos mais tarde medidas de caris ambiental e de proteção da qualidade da água, numa altura em que a proteção da Natureza e dos recursos naturais seria algo imprescindível para que as necessidades das gerações presentes e futuras fossem asseguradas.

A contínua investigação científica demonstrou que as práticas de má gestão dos recursos hídricos poderiam ter consequências altamente nefastas, no que toca à qualidade e quantidade de água disponível. As novas informações vieram mostrar que o ritmo de consumo de água era superior ao ritmo de reposição natural de bacias hidrográficas e de sistemas de circulação sub-superficial, tratando-se de um défice para a Natureza, que mais tarde poderia vir a ser do Homem. Em termos de qualidade de água, acentuou-se a necessidade de controlar as cargas de poluentes que chegavam às massas de água, já que se estavam a por em risco a qualidade dos produtos agrícolas, extrapolando esta realidade para o domínio da saúde pública. Para além disso, começou-se a perceber que o Homem estava inserido numa complexa malha de ecossistemas cuja interação e equilíbrio precisavam de ser mantidos a fim de não provocar desequilíbrios para nenhuma parte.

O passo seguinte passaria a ser a formalização a nível legislativo de políticas e medidas protecionistas do domínio da gestão dos recursos hídricos a fim de salvaguardar a sua qualidade e disponibilidade, bem como os interesses económicos, sociais e financeiros das populações. Nesse seguimento, cita-se o Decreto-Lei n.º 130/2012 de 22 de Junho, referente à “ Lei da Água (LA - Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro) transpôs para a ordem jurídica nacional a Diretiva Quadro da Água (DQA - Diretiva 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro), alterada e republicada pelo Decreto-lei n.º 130/2012, de 22 de junho,

estabelecendo um quadro de ação comunitária no domínio da política da água.”. Segundo a mesma fonte, esta série de medidas “tem por objetivo proteger as massas de água superficiais interiores, as massas de água costeiras, as massas de água de transição e as massas de água subterrâneas.”.

Foram feitas modificações irreversíveis a nível da orientação das linhas de água, das suas capacidades de escoamento e dos seus caudais, e no tocante às características da água, verifica-se uma alteração da temperatura. A estes fatores podem acrescentar-se consequências subjacentes do aquecimento global e das alterações climáticas. Vieira (2003), esclarece que um dos efeitos previsíveis deste aquecimento tem a ver com o regime de formação dos enormes reservatórios de gelo nas cabeceiras montanhosas dos rios que se acumulam no inverno e se fundem na primavera e no verão. Com a elevação da temperatura, haverá maior quantidade de precipitação sob a forma de chuva do que sob a forma de neve, tendo como consequência direta a fusão dos blocos de neve das montanhas mais cedo e mais rapidamente, originando cheias mais intensas no princípio da primavera e menores caudais no verão, quando a procura de água é maior. Para além disto, de forma significativa, os ciclos de nutrientes em ecossistemas podem ser alterados de forma significativa, facto que influencia a qualidade da água.

Importa, portanto, chamar a atenção para uma temática do presente, sempre com os olhos postos no futuro. A importância da GIRH e da sua contínua evolução mediante as necessidades das comunidades e dos avanços científicos na área deve ser tida em conta em diversas escalas. A escala a que este trabalho se refere é ao nível de parte da bacia hidrográfica do rio Vizela que está no domínio administrativo do concelho de Fafe. O âmbito do plano de gestão integrada dos recursos hídricos neste espaço visa aferir as condições hidrológicas e hidrogeológicas atuais, e de que forma a população pode usufruir da água com máximo proveito e mínima degradação das condições ambientais e dos recursos naturais.

3. Aspetos gerais da circulação da água em meio superficial e subterrâneo

3.1 Águas superficiais e a sua vulnerabilidade à contaminação

Associadas às linhas de água existem inúmeras atividades antrópicas que podem ser causadoras de deterioração da sua qualidade, como é o caso de atividades industriais, agrícolas, agropecuárias, extrativas, entre outras. Para o caso de estudo, importa chamar a atenção para os impactos relacionados com a indústria e a agricultura, já que são estas as que têm uma maior expressividade, uma vez que estão fortemente implementadas junto das linhas de água da região. Com o propósito de tentar esclarecer os efeitos das atividades antrópicas sobre a qualidade da água, importa, primeiramente, estabelecer a relação entre os fatores ambientais e a normal composição das águas.

A alimentação de uma bacia hidrográfica passa pela precipitação, que pode diretamente incidir nas linhas de água ou então nas zonas adjacentes a estas. Assim, há a possibilidade de a composição da água ser alterada pela própria composição da chuva ou ainda pela lixiviação de compostos que podem chegar às linhas de água, por meio de escoamento superficial (Hem, 1985). Posto isto, é verossímil que a tipologia do meio biótico e geológico exerça um contributo preponderante na composição da água. Não obstante e, por ventura, com maior significado, as atividades antrópicas acarretam uma grande responsabilidade no tocante à alteração da composição e qualidade das águas superficiais.

Segundo Owa (2014), a água é considerada poluída se alguma substância ou composto estiver presente em tão larga escala que torne a água imprópria para um propósito específico. Olaniran (1995), definiu a poluição da água como a presença de excessivas quantidades de poluentes a tal ponto de não ser mais possível usá-la para consumo, higiene, cozinhar, entre outros. Em termos de poluentes, a sua tipologia é variante conforme as atividades em prática. Particularizando para o caso de estudo, os casos que acarretam maior prejuízo para o meio ambiente são a indústria ligada ao têxtil, incluindo tinturarias, e a agricultura.

Por definição, a indústria têxtil tem como objetivo a transformação de fibras em fios, de fios em tecidos e de tecidos em peças de vestuário, têxteis domésticos (roupa de cama e mesa) ou em artigos para aplicações técnicas (airbags, cintos de segurança, entre outros). Os produtos têxteis resultam da manufatura de fibras naturais ou sintéticas. As principais fibras naturais são a lã e o algodão. As principais fibras sintéticas incluem o poliéster, o rayon, o nylon, o poliacrílico e as poliamidas. Os efluentes gerados pelas indústrias do setor têxtil contêm elevada carga orgânica (amido, gomas de glucose, pectinas, álcoois, ácido acético, sabões e detergentes) e inorgânica (hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto), cor acentuada e outros

compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente (Silva, 2011). No caso das tinturarias para Esteves (2004), os seus efluentes apresentam, de um modo geral, forte coloração, pH altamente variável e elevado teor em matérias oxidáveis. Os poluentes que advêm destas atividades são geralmente soluções e lamas ricas em metais pesados, tintas e solventes (fonte: *Environmental Protection Agency*, Solving the Hazardous Waste Problem: EPA's RCRA Program, Washington,DC: EPA, November, 1986).

Tradicionalmente, a região de Fafe é conhecida por ser um meio rural e de práticas agrícolas, se bem que com o passar dos anos essas práticas tenham diminuído gradualmente, pelo que atualmente constata-se uma diminuição das áreas agrícolas e de pastagens e de uso silvo-pastoril da floresta (Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Fafe, 2008). Independentemente da magnitude, têm de ser consideradas possíveis práticas agrícolas penalizantes para o meio natural. A Tabela 1 apresenta uma síntese de impactos agrícolas comuns, sobre a água.

Tabela 1- Impactos de atividades agrícolas sobre as linhas de água superficiais
(adaptado a partir de Ongley, 1986).

| Atividades agrícolas | Água superficial |
|---|---|
| Cultivo e agrícola da terra | Transporte de fosfatos e pesticidas adsorvidos em partículas de sedimentos; assoreamento de leitos de rios e perda de habitat, área de desova, etc. |
| Fertilização | Escoamento de nutrientes, especialmente de fosfatos e compostos azotados que levam à eutrofização, provocando modificações no sabor e odor da água. O fenómeno de eutrofização leva a um excesso de algas que conduz a uma desoxigenação da água e à consequente morte e perda de fauna e flora fluvial. |
| Uso de adubos naturais | Pode ser vista como uma atividade de fertilização, que acarreta a contaminação da água por meio de organismos patogénicos, metais, compostos azotados e fosfatos, que podem estar presentes na urina e fezes dos animais. Também é um forte catalisador de processos de eutrofização não natural. |
| Pesticidas | O escoamento de pesticidas induz alterações no meio biótico causando a morte dos predadores do topo da cadeia alimentar, condicionando também a sua reprodução. Em termos de saúde pública, há perigos de consumo de peixes contaminados. Os pesticidas são facilmente transportados através do vento, pelo que podem contaminar outros meios bióticos. |
| Irrigação | Facilitador da dispersão de fertilizantes, pesticidas, e de outros compostos tais como sais e matéria orgânica por meio de escoamento até às linhas de água, perturbando os ecossistemas fluviais. |
| Limpeza de terrenos e desflorestação | Erosão do terreno, levando ao aumento da turbidez dos rios, gerando também perdas de habitats, bem como de mudanças de regimes hidrológicos, geralmente com perdas de cursos de água perenes. Em termos de consumo para o homem, há perda de qualidade de água, tornando-a impotável. |

Das várias práticas agrícolas, destaca-se o uso de fertilizantes e de adubos naturais como sendo o fator que mais poderá comprometer a qualidade das águas, indo também ao encontro

das técnicas mais usadas na região que, de uma forma global, estão a cargo, em grande maioria, da população já envelhecida. A fertilização tem como objetivo o aumento da quantidade de nutrientes para as práticas agrícolas e apesar de fulcrais para os organismos, quando surgem em elevadas quantidades nos ecossistemas, podem contribuir negativamente para estes. Os nutrientes principais a considerar são o azoto e fósforo, que podem aparecer na forma dissolvida ou associados a partículas de sedimentos. O fósforo aparece dissolvido essencialmente na forma de fosfato (PO_4^{3-}) e o azoto na forma de amónia (NH_3), amónio (NH_4^+) e azoto oxidado (nitrito, NO_2^- , e nitrato, NO_3^-). Como visto na Tabela 1, estão geralmente associados a práticas agrícolas (Costa, 2012).

3.2 Circulação da água no meio subterrâneo

Em termos hidrogeológicos na área em apreço, a circulação da água em meio subterrâneo é condicionada pela porosidade secundária de fraturação e alteração dos granitos, já que este tipo de rochas é muito pouco poroso e praticamente impermeável (sem porosidade primária).

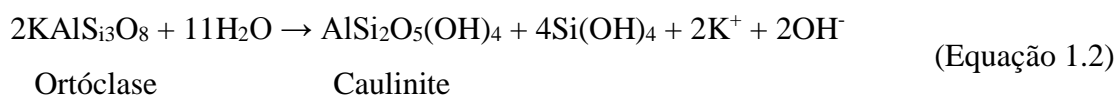
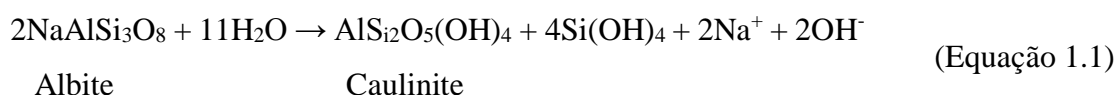
A porosidade secundária por fraturação (falhas e diaclasamento) resulta da deformação frágil Varísca e Alpina que atuam na região. Segundo Lima (2001), verifica-se que as direções NNE-SSW a ENE-WSW são as mais frequentes e as mais extensas, podendo atingir várias centenas de quilómetros, coexistindo com menor expressão o sistema NW-SE.

As zonas graníticas caracterizam-se pela ocorrência de grandes blocos cortados e interligados por fraturas e diaclases, e é esta rede de espaços existente entre blocos que torna estes meios geológicos favoráveis à circulação e armazenamento de água. A relevância do controlo estrutural não se fica apenas pelas fraturas em si, já que o preenchimento das mesmas condiciona a circulação da água. Mediante as estruturas de preenchimento, estas podem ser vistas como meio condutores ou barreiras no fluxo subterrâneo. Ou seja, se as estruturas foram preenchidas por corpos filonianos cataclasados, a água pode circular por entre os espaços existentes, e em oposição, caso estas estruturas sejam pouco fragmentadas a água encontra barreiras, já não podendo circular livremente.

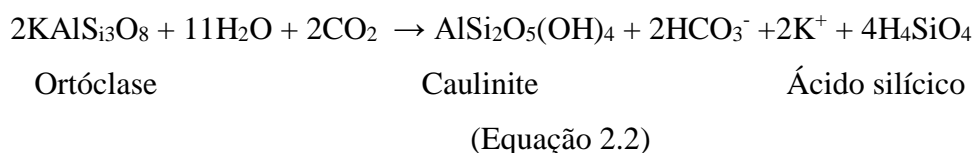
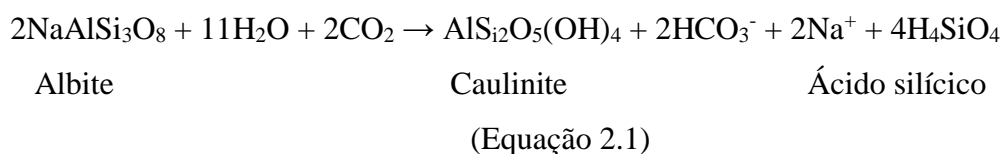
A porosidade secundária por alteração é o resultado da meteorização, descrita como um processo natural que ocorre mediante a interação litosfera – atmosfera – hidrosfera – biosfera, como resposta a novos estados de equilíbrio dos materiais geológicos. Pode-se categorizar os processos de meteorização em mecânicos, químicos e biológicos.

A *alteração mecânica* corresponde a desagregação das rochas sob o efeito das variações diárias e sazonais da temperatura, da ação do gelo e do degelo, da cristalização de sais e do crescimento de raízes vegetais.

A *alteração química* é um processo de transformação dos minerais primários em minerais de neoformação. Estes minerais frequentemente pertencem ao grupo dos silicatos e são geralmente conhecidos por minerais argilosos devido à particularidade de possuírem uma baixa resistência mecânica e de por isso serem encontrados em partículas extremamente pequenas (Larsson, coord, 1984). Os mecanismos de ação são as reações de hidrólise, de oxidação-redução, de carbonatação e de hidratação, destacando-se a primeira por se tratar da mais preponderante na alteração das rochas silicatadas, que é o caso dos granitos (Lima, 2001). A hidrólise envolve a troca de cátions metálicos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) da rede dos minerais por iões H^+ e a combinação dos aniões OH^- com os cátions libertados (Pinto, 2011). A hidrólise de um feldspato sódico, neste caso a albite, pode exprimir-se, de forma simplificada pela Equação 1.1, e a de um feldspato potássico (ortóclase) pela Equação 1.2 (Lima, 2001).



Se tida em conta a possibilidade de no processo de hidrólise existir CO_2 dissolvido, resultante de atividade biológica e troca gasosa de plantas, terá de se reescrever as reações de hidrólise, cujo resultado está ilustrado nas Equações 2.1 e 2.2 (Lima, 2001).



A *alteração biológica* dá-se por meio de atividade de micro e macroflora, bem como dos macroinvertebrados, particularmente os animais escavadores e litófagos (Lima, 2001).

A espessura da camada de arenização é então dependente da intensidade dos processos de meteorização e das próprias características do litótipo, prevendo-se para a zona de Fafe, uma média de 18.3 metros, isto segundo um quadro de parâmetros estatísticos relativos à espessura dos mantos de alteração proposto por Lima (2001). Em suma, a granulometria é o ponto vital desta questão, na medida em que quanto mais grosseiro for o grão, maior a sua permeabilidade, logo maior a sua potencialidade hidrogeológica (Larsson, coord, 1984).

4. Locais de amostragem e metodologias adotadas

No âmbito do estudo da qualidade das linhas de água e da caracterização da circulação da água subterrânea em meio fraturado, as Tabelas 2 e 3 dão conta da apresentação e da localização dos pontos de controlo.

Tabela 2- Locais de amostragem para o estudo da água subterrânea.

| Denominação | Coordenadas WGS84 | | Divisão administrativa | | Observações |
|-------------|-------------------|-----------|------------------------|----------|-------------|
| | Latitude | Longitude | Freguesia | Conselho | |
| X1 | 41.435108 | -8.159334 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X2 | 41.412120 | -8.163440 | Antime | Fafe | X |
| X3 | 41.435613 | -8.155125 | Antime | Fafe | |
| X4 | 41.412809 | -8.169075 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X5 | 41.412074 | -8.167197 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X6 | 41.410610 | -8.185518 | Armil | Fafe | X |
| X7 | 41.408315 | -8.153448 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X8 | 41.403687 | -8.171403 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X9 | 41.404078 | -8.170213 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X10 | 41.413077 | -8.165660 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X11 | 41.406120 | -8.149982 | Silvares S. Martinho | Fafe | |
| X12 | 41.410568 | -8.187723 | Armil | Fafe | X |

X— ponto onde não é possível medir caudais por condicionantes do local

A escolha destes locais foi feita em virtude do conhecimento da existência de nascentes e fontanários públicos, predominantemente na zona de Silvares S. Martinho. Esta freguesia foi mais enfatizada em termos de maior número de pontos de controlo já que é nesta localidade que está sediada uma empresa de extração e engarrafamento de água de nascente, pertencente ao grupo “Águas de S. Martinho”. O pressuposto é de que, em termos hidrogeológicos, esta possa

ser uma zona importante, pelo que será interessante tentar inferir comportamentos em termos de circulação no meio fraturado, bem como do seu quimismo.

Importa fazer a chamada de atenção ao aspeto de não ter sido possível estudar emergências naturais, já que essas mesmas emergências, foram, desde há muitos anos canalizadas e tornadas em locais de uso público pelos populares e autoridades, conforme os fins a que são destinadas.

Tabela 3- Locais de amostragem para o estudo das linhas de água superficiais.

| Denominação | Coordenadas WGS84 | | Divisão administrativa | |
|--------------------|--------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
| | Latitude | Longitude | Freguesia | Conselho |
| YA | 41.54179 | -8.1168609 | Gontim | Fafe |
| YB | 41.53446 | -8.1377806 | Luílas | Fafe |
| YC | 41.50588 | -8.1578716 | Queimadela | Fafe |
| YD | 41.50494 | -8.1615958 | Queimadela | Fafe |
| YE | 41.4746 | -8.1849247 | Fornelos | Fafe |
| YF | 41.46917 | -8.1862729 | Fornelos | Fafe |
| YG | 41.46222 | -8.1848805 | Golães | Fafe |
| YH | 41.45726 | -8.1886821 | Fafe | Fafe |
| YI | 41.44535 | -8.1976998 | Arões | Fafe |
| YJ | 41.437 | -8.2078005 | Cepães | Fafe |
| YK | 41.40349 | -8.2224985 | Serzedo | Guimarães |
| YL | 41.43201 | -8.1830239 | Armil | Fafe |
| YM | 41.45778 | -8.162933 | Fafe | Fafe |
| YN | 41.40743 | -8.1443229 | Silvares S. Martinho | Fafe |
| YO | 41.40205 | -8.1613195 | Silvares S. Martinho | Fafe |
| YP | 41.40273 | -8.2223908 | Jugueiros | Felgueiras |
| YQ | 41.40483 | -8.2179758 | Travassós | Fafe |
| YR | 41.40504 | -8.2143432 | Travassós | Fafe |

Para o estudo das linhas de água, os pontos foram escolhidos pelos seguintes parâmetros: zonas de bifurcação de linhas de água, zonas de fronteira com outros limites administrativos, cobertura da zona urbana de Fafe (quer dos limites mais periféricos, quer do núcleo mais central).

As informações relativas às campanhas de campo efetuadas, são apresentadas nas Tabelas 4 e 5 para o conjunto de pontos de controlo das águas subterrâneas e das águas superficiais, respetivamente.

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos, e para ambos os estudos, os instrumentos utilizados foram a sonda multiparamétrica HI98128 da Hanna Instruments para

leitura do pH, e Waterproof ECTestr da Eutech Instruments para medição da condutividade elétrica, possuindo ambos sensores de temperatura.

Tabela 4- Datas das campanhas de campo para o estudo das águas subterrâneas.

| Datas | Medição do caudal* | Estudo completo** |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 13 de Janeiro de 2015 | | X |
| 26 de Janeiro de 2015 | | X |
| 23 de Fevereiro de 2015 | | X |
| 23 de Março de 2015 | | X |
| 30 de Março de 2015 | | X |
| 4 de Maio de 2015 | X | |
| 18 de Maio de 2015 | X | |
| 27 de Maio de 2015 | | X |
| 7 de Junho de 2015 | | X |
| 21 de Junho de 2015 | X | |

*Medição de caudal – cálculo do caudal de saída de água das nascentes;

** Estudo completo - cálculo do caudal de saída de água das nascentes e determinação dos parâmetros físico-químicos pH, condutividade e temperatura da água.

O facto de haver datas em que apenas se determinaram os caudais, deveu-se à indisponibilidade do equipamento de medição dos parâmetros químicos à data.

Foi no dia 27 de Maio de 2015 que foi feita uma campanha de amostragem a todos os 12 pontos de controlo da água subterrânea. A análise aos aniões foi feita por cromatografia iónica, por filtração com membrana 0,45 µm e refrigeração a 4°C, realizada no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, sendo as leituras de pH e condutividade efetuadas no campo. A análise dos catiões e elementos vestigiais foi feita nos laboratórios “Activation Laboratories” (Canadá); para determinação dos catiões maiores, elementos menores e elementos traço foi utilizado um espectrómetro de emissão ótica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). No dia 14 de Junho de 2014, e aproveitando uma altura em que tinha ocorrido um episódio de precipitação, foi recolhida uma amostra de chuva e levada também para analisar nos mesmos termos das amostras de águas subterrâneas.

Tabela 5- Datas das campanhas de campo para o estudo das linhas de água superficiais.

| Datas | Medição dos parâmetros físico-químicos* |
|-------------------------|---|
| 14 de Janeiro de 2015 | X |
| 19 de Janeiro de 2015 | X |
| 26 de Janeiro de 2015 | X |
| 21 de Fevereiro de 2015 | X |
| 23 de Março de 2015 | X |
| 30 de Março de 2015 | X |
| 23 de Junho de 2015 | X |

* determinação dos parâmetros pH, condutividade e temperatura da água.

Da listagem de pontos apresentados na Tabela 3, apenas 10, dos 18 inventariados, foram analisados em laboratório e também neste caso, a última data de controlo foi também a de recolha e amostragem de água, tendo sido realizadas análises de aniões por cromatografia iónica, por filtração com membrana 0,45 µm e refrigeração a 4°C, feitas no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho; as leituras de pH e condutividade foram efetuadas no campo.

No decorrer do trabalho, os pontos YA, YB, YC e YD deixaram de ser sujeitos a controlo, uma vez que as informações que foram obtidas no decorrer do trabalho de campo apontavam que nestes locais, que ficavam a montante da zona mais urbanizada, não eram visíveis ou perceptíveis valores químicos anómalos nas linhas de água. Decidiu-se então dar uma maior preponderância aos demais pontos, que já tinham sido reconhecidos como sendo locais com maior suscetibilidade à poluição.

5. Enquadramento natural da região em estudo

5.1 Bacia hidrográfica do rio Vizela – análise morfométrica

A bacia hidrográfica do rio Vizela é uma sub bacia do sistema hidrográfico do rio Ave. Tal como o próprio nome indica, o principal curso de água desta bacia é o Rio Vizela: a sua nascente é nas serras a NW de Fafe, no alto de Morgair, freguesia de Gontim a uma altitude de 894 metros e o seu ponto de confluência com o rio Ave é na Vila das Aves, na localidade da Ponte, à cota de 92 metros. Em termos de outros sistemas hidrográficos subjacentes ao rio Vizela, destacam-se os rios Bugio e Ferro, ambos com as respetivas nascentes em Fafe. A Tabela 6 mostra de uma forma sintetizada as principais características morfométricas da bacia de acordo com Lencastre e Franco (1984) e Summerfield (2008). A Figura 1 dá a conhecer a área da bacia

do rio Vizela, bem como a área do concelho de Fafe e ilustra a ordem de canais segundo o sistema de Strahler.

Tabela 6- Caracterização morfométrica da bacia do rio Vizela (síntese).

| | | |
|---|----------------|-----------|
| Área (km²) | 338.52 | |
| Perímetro (km) | 144.14 | |
| Extensão máxima (km) | 33.70 | |
| Ordem de canais (sistema de Strahler) | Ordem do canal | Nº canais |
| | 1 | 146 |
| | 2 | 31 |
| | 3 | 6 |
| | 4 | 1 |
| Relação de bifurcação | 0.97 | |
| Densidade de drenagem | 0.89 | |
| Relação de circularidade | 0.20 | |
| Relação de alongamento | 0.97 | |
| Coefficiente de capacidade ou índice de Grauvélius | 10.38 | |
| Fator de forma | 3.35 | |
| Percurso médio do escoamento superficial | 2.51 | |
| Amplitude altimétrica (metros) | 802 | |
| Relação altimétrica | 2.37% | |
| Rugosidade | 0.72 | |

Os resultados obtidos para as características geométricas (índice de Grauvélius e fator de forma) e para as características do sistema de drenagem (densidade de drenagem e percurso médio do escoamento superficial), segundo Lencastre e Franco (1984), indiciam que a bacia hidrográfica do rio Vizela é pouco propícia à ocorrência de cheias. Retém-se ainda que se trata de uma bacia alongada, e por redundância, pouco circular.

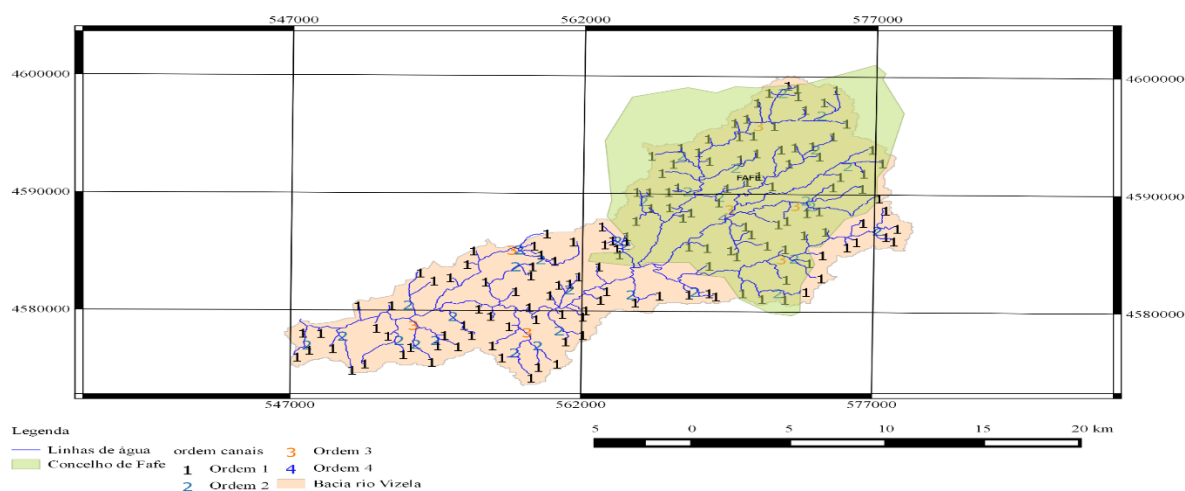


Figura 1- Bacia hidrográfica rio Vizela com a ordem de canais segundo o sistema de Strahler. Coordenadas WGS84 / UTM zone 29N. Fonte SNIRH (2006).

5.2 Rede meteorológica e condições pluviométricas

5.2.1 Estações udométricas

A fim de estudar o comportamento da precipitação na bacia do Vizela, procedeu-se à análise do conjunto de estações udométricas para a bacia do rio Ave (Tabela 7), uma vez que o propósito do estudo é estudar a bacia do rio Vizela em particular, foram determinadas quais as estações que teriam influência sobre a área de estudo (Figura 2).

Realce para o facto de apenas metade das estações estarem contidas na área da bacia do rio Vizela. As informações relativas às estações udométricas foram obtidas na base de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídrico (SNIRH, 2014). Os dados obtidos relativos às estações udométricas do SNIRH podem ser lidos na Tabela I, ANEXO 2. A Tabela 7 apresenta as estações consagradas para a área de interesse, assinalando-se as lacunas temporais de dados referentes à precipitação.

No que toca aos anos em falta, a estação de Fontela é a que apresenta uma menor lacuna temporal (9 anos), e a estação de Santo Tirso é aquela que tem menos dados para o espaço temporal considerado (1980/2010).

Tabela 7- Estações com séries incompletas e anos em falta.

| Nome | Anos em falta |
|-------------------------------|------------------------|
| Arada | 1999, 2001/05, 2007/10 |
| Barragem de Guilhofrei | 1990/72006, 2009/10 |
| Castelões | 2000/02, 2006/09 |
| Fafe | 2001/10 |
| Fontela | 2001/2005, 2007/10 |
| Gontim | 2002, 2009/10 |
| Lordelo | 2002/03, 2006/10 |
| Moreira do Rei | 1999//2002, 2009/10 |
| Santo Tirso | Apenas 1980 |
| Taipas | 2000/03, 2006/10 |

O complemento das séries incompletas não foi realizado, já que nenhuma estação tinha uma série completa, ou coeficientes de correlação elevados. Desta feita, a metodologia utilizada para a elaboração da determinação dos polígonos de Thiessen (Figura 2) e do balanço hídrico, que será apresentada nas secções subsequentes, tem apenas em consideração os dados recolhidos no SNIRH (2014), sem constar qualquer valor corrigido ou calculado.

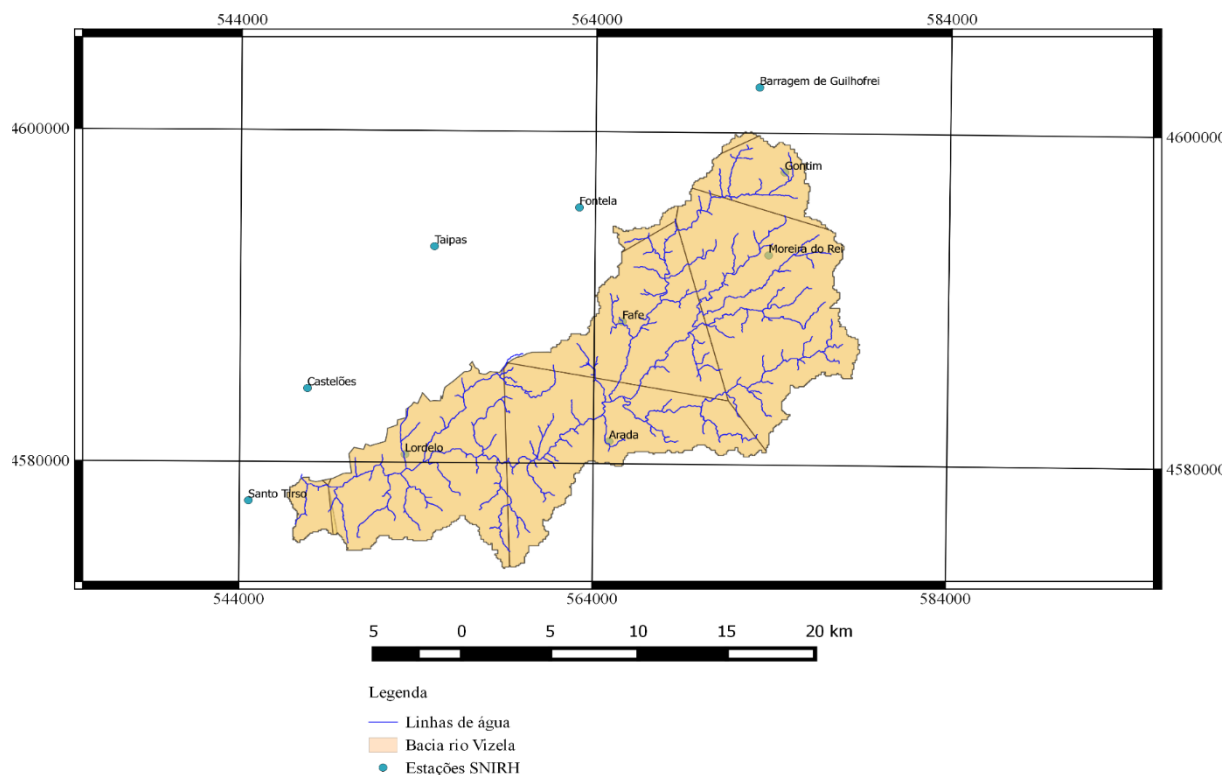


Figura 2- Localização das estações udométricas e polígonos de Thiessen. Coordenadas WGS84 / UTM zone 29N. Fonte SNIRH (2006).

5.2.2 Balanço hídrico

A elaboração do balanço hídrico para a área de estudo foi feita segundo as limitações mencionadas no parágrafo anterior, de modo que se extrapola, neste caso, que o balanço hídrico da região é representado pelo balanço feito a partir dos dados retirados da estação de Fafe. O intervalo temporal usado para este estudo consagra o período de 1932/2000 (68 anos), tendo sido utilizados os valores de precipitação apresentados pelo SNIRH. A escolha desta estação prende-se com a sua centralidade face à região em estudo, para além de ser a estação que apresenta a maior série de dados consecutivos.

Uma vez que apenas estavam disponíveis os dados da precipitação mensal, os valores de evapotranspiração potencial foram determinados segundo a fórmula de Thornthwaite – Equação 3, adaptado a partir de Lima (2001). A Tabela II, ANEXO 2, tem patente as considerações feitas para a determinação da evapotranspiração potencial:

$$ETP = 16.2d_i \left(\frac{10T_i}{J} \right)^\alpha \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

ETP – evapotranspiração potencial mensal (mm)

d_i – fator de ajuste mensal, relacionado com o tempo de insolação;

T_i – temperatura média mensal (°C);

I – índice de calor mensal, dado por:

$$I_i = \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \quad (\text{Equação 3.1})$$

$$J = \sum_{i=1}^{12} I_i \quad (\text{Equação 3.2})$$

$$\alpha = 6.75 \times 10^{-7} J^3 - 7.71 \times 10^{-5} J^2 + 1.792 \times 10^{-2} J + 0.49239 \quad (\text{Equação 3.3})$$

O fator de ajuste mensal (d_i) é calculado pela seguinte expressão:

$$d_i = \frac{l_1}{12} \times \frac{n_i}{30} \quad (\text{Equação 3.4})$$

em que:

l_i – número máximo de horas de sol, de acordo com a latitude;

n_i – número de dias do mês

Feitas todas as considerações, apresenta-se a Figura 3 com a representação gráfica do balanço hídrico.

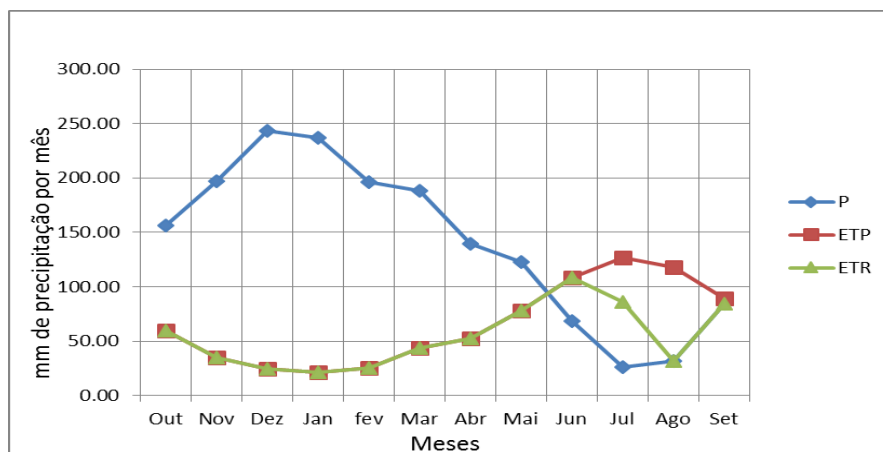


Figura 3- Balanço hídrico para a estação de Fafe (P – precipitação; ETP – evapotranspiração potencial; ETR – evapotranspiração real), para o período de 1932/2000.

Em termos percentuais, 38.5% da precipitação total corresponde à evapotranspiração real, restando 61.5% de precipitação que se podem traduzir em escoamento. Este último valor pode servir de referência de recarga subterrânea para outros locais de estudo que não aqueles consagrados na área do polígono da estação de Fafe, uma vez que não há grandes variações morfoclimáticas para a restante área de estudo.

A Figura 4 vem no seguimento do estudo do balanço hídrico da estação de Fafe, em que estão representados os valores de precipitação mensal entre os anos de 1932/2000.

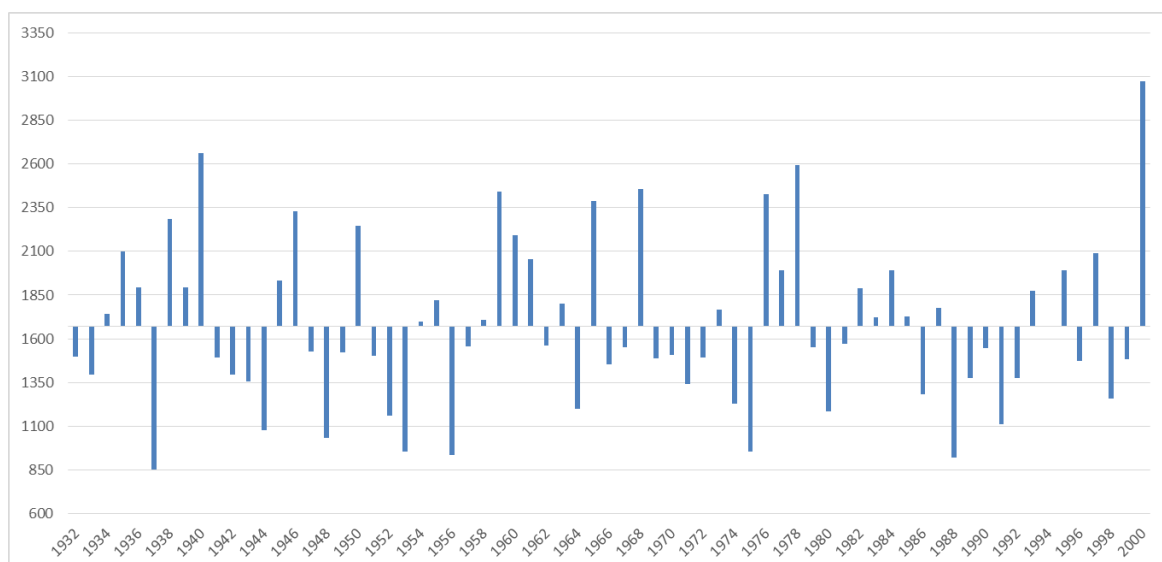


Figura 4- valores de precipitação da estação de Fafe entre os anos de 1932/2000, segundo o valor médio das precipitações anuais – 1672.5 mm.

Usando o valor médio das precipitações anuais como referência, pode-se considerar um de três casos distintos para a caracterização de um ano hidrológico; foi definida uma margem de 10% acima e abaixo do valor médio, e entre estes dois, para se aferir se um dado ano foi seco, húmido ou então um ano de pluviosidade média. A Tabela 8 faz o registo destas considerações, assinalando o número de anos para cada intervalo estatístico definido.

Tabela 8- Estudo da pluviosidade para a estação de Fafe.

| Margem | Precipitação (mm) | Denominação | Nº de anos | % |
|--------------|-------------------|-------------|------------|-----|
| - 10% | 1505.25 | Ano seco | 25 | 37 |
| + 10% | 1839.75 | Ano húmido | 21 | 31 |
| -10% < +10% | 1505.25 < 1839.75 | Ano médio | 22 | 32 |
| Total | | | 68 | 100 |

Os resultados obtidos ilustram que, ao longo dos anos, vai havendo uma alternância quanto à precipitação, não se verificando nenhuma tendência preferencial ao longo dos anos para períodos de maior ou menor precipitação. De referir que o ano com a precipitação mais elevada, no período observado, foi o ano de 1999/2000 com um valor de 3073.4 mm/ano (54.4% acima da precipitação média).

5.2.3 Determinação dos polígonos de Thiessen

A elaboração dos polígonos de Thiessen foi feita a partir dos valores apresentados na Tabela 9. De modo a determinar a precipitação média na bacia foi usada a Equação 4, deduzida a partir de Fetter (2001):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{A} \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

P – precipitação média na bacia (mm);

A_i – área do respectivo polígono, dentro da bacia (km²);

P_i – precipitação na estação;

A – área total da bacia.

Tabela 9- Apresentação dos dados relativos à determinação da precipitação média ponderada pelo método dos polígonos de Thiessen.

| Nome | Área (km ²) | Precipitação média (mm) | Relação multiplicação |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Arada | 77.43 | 1419.01 | 109872.07 |
| Barragem de Queimadela | 0.93 | 2415.97 | 2238.95 |
| Castelões | 0.09 | 1136.99 | 100.11 |
| Fafe | 59.36 | 1672.52 | 99286.44 |
| Fontela | 2.78 | 1664.74 | 4628.87 |
| Gontim | 20.88 | 2040.65 | 42598.93 |
| Lordelo | 76.49 | 1085.83 | 83050.77 |
| Moreira do Rei | 93.65 | 1602.84 | 150102.47 |
| Santo Tirso | 7.28 | 1448.10 | 10541.45 |
| Taipas | 0.02 | 1592.40 | 35.15 |
| TOTAL | 338.52 | | |

As áreas de influência relativas a cada uma das estações podem ser vistas na Figura 2, tendo sido determinada uma precipitação média ponderada na bacia de 1484.27 mm, diferente do valor obtido por meio da média aritmética – 1607.90 mm. Retêm-se que os maiores valores de precipitação média não coincidem com os polígonos de maior área.

Pode-se considerar que o método de Thiessen é geralmente mais preciso que o método da média aritmética, apesar de o método de Thiessen não atentar às influências orográficas ou variações de distribuição espaciais da precipitação.

5.3 Enquadramento natural

5.3.1 Descrição geomorfológica

Citando e transcrevendo o Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Fafe, “o concelho de Fafe possui uma área total de cerca de 219,08 km² (21908,64 há) situando-se no Norte de Portugal, Região de Entre Douro e Minho, no distrito de Braga e é parte integrante dos Municípios do Vale do Ave (Figura I, ANEXO 1). Os mapas de localização do concelho de Fafe estão nas Cartas Militares à escala 1:25 000 n.º 58, 71, 72, 85, 86, 99 e 100 e, a sua localização está compreendida, aproximadamente, entre as latitudes 41°21’N e 41°34’N e entre as longitudes 8°03’W e 8°15’W.

No concelho de Fafe a altitude média é da ordem dos 350 metros (mínimo de 150 m em Fareja/Serafão e máximo de 893 m no Alto de Morgair, em Gontim), atingindo-se, em alguns pontos, cotas superiores aos 850 metros.

As zonas montanhosas predominantemente a Este e a Oeste, com especial destaque para a zona Este, e as depressões conjugadas com os cursos e linhas de água que as drenam, ora se desenvolvem em vales encaixados, no sector Este e em parte da área central do concelho, ora em vale mais alargado, nos extremos NW e SW.

A zona Norte é dominada pela Serra de Cabeceiras, com altitudes superiores a 800 metros, onde se destacam a Serra do Maroiço, que atinge os 850 metros e o Alto de Morgair, com 893 metros. O Alto das Cobraceiras e os Outeiros Alto e das Palas do Semedeiro, junto a Bastelo, são separados do conjunto anterior pelo estreito vale do Rio de Várzea Cova e da Ribeira de Abrunheiros. Aquele vale corta a montanha, a partir de Aboim e estende-se para além de Várzea Cova, na direção NNW-SSE. A Sul dominam as Serras do Marco e de Quintela. Também a Sul, na zona de Silvares atingem-se os 550 metros, em S. Sabagudo e S. Salvador.

A zona montanhosa no sector NW não ultrapassa os 550 metros nos Montes das Penas Aldas, de Santa Marinha e de Rial. A ligação das zonas montanhosas às zonas baixas do Centro e SW e à de NW, é feita por declives geralmente acentuados, com destaque para o sub-sector NE.”.

Em suma, o estilo físico do concelho caracteriza-se pelo desenvolvimento diferente da expressão de montanha nas zonas Este e Oeste e pelo contraste entre essas linhas de relevos e as zonas baixas que entre elas se intercalam (Figura 5a).

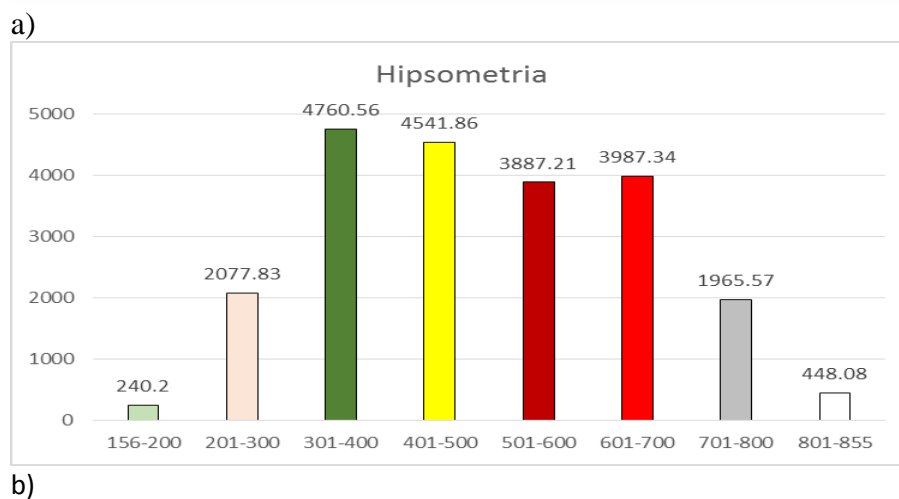
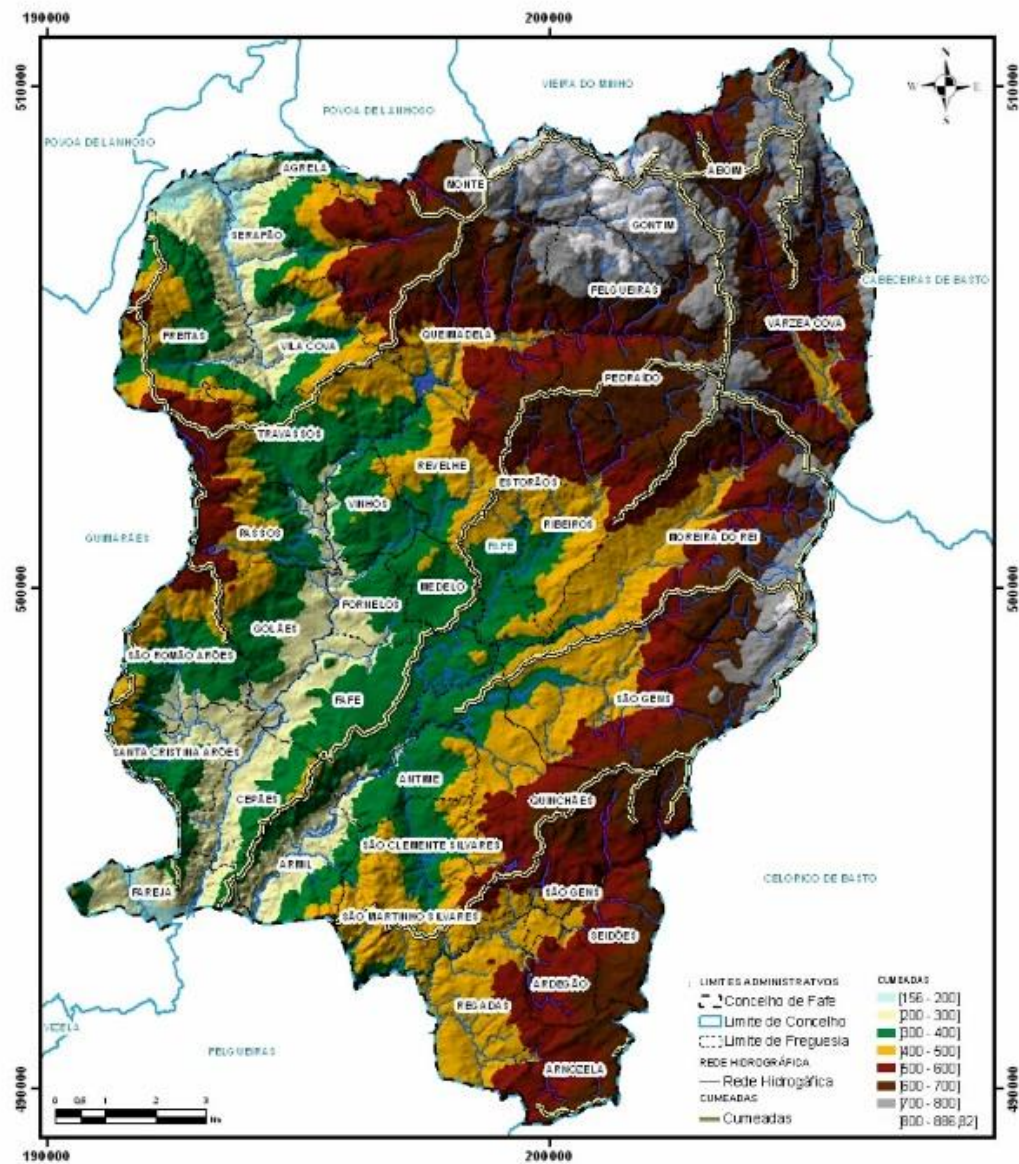


Figura 5- a). Mapa hipsométrico do concelho de Fafe. Projeção retangular de gauss Elipsoide de Hayford, Datum Lisboa Coordenadas Hayford - Gauss. Fonte: IPG (2008); b). Histograma da altimetria do concelho de Fafe.

A partir do mapa hipsométrico do concelho de Fafe (Figura 5) foi construída a Figura 5b, onde podemos verificar que as altitudes mais representativas no concelho de Fafe estão compreendidas entre os 201 e os 800 metros (19142,54 ha). As altitudes que predominam pertencem à classe dos 301 - 700 m (78%), seguido dos 201 - 300 m (10%) e dos 701 – 800 m (9%). As classes com altitudes menos representativas são as que se encontram nos extremos, ou seja, as que têm altitudes inferiores a 200 m (1%) e as que têm altitudes superiores a 801 m (2%).

5.3.2 Descrição geológica

No concelho de Fafe as principais litologias são: granito porfiróide de grão grosseiro, essencialmente biotítico (granito de Guimarães), granito de grão fino a médio, com esparsos megacristais, com 2 micas, essencialmente biotítico (granito de Braga), e um granito de grão fino, com 2 micas, essencialmente biotítico (granito de Fafe) (Pereira, coord, 1989). A primeira litofácies é *sin a tardi* tectónica (série intermédia), sendo que as 2 restantes são ambas *tardi a pós* tectónica (série tardia), isto relativamente à 3ª fase de deformação varísca. Albuquerque, (1978), prevê uma origem profunda, resultando, pelo menos nalguns casos, da fusão parcial de gnaisses e xistos pelíticos e/ou quartzo–feldspáticos, com resíduo granulítico.

Na opinião de Ferreira *et al.* (1987), os granitos biotíticos tardi-F3 distribuem-se em faixas situadas lateralmente ao Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e ao cisalhamento de Vigo-Régua; por seu lado, os granitoides biotíticos *tardi a pós*-F3 constituem uma série intrusiva na anterior, colocando-se na parte mais interna entre as zonas de cisalhamento mais importantes (*e.g.*, entre o Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão e o cisalhamento de Vigo-Régua). Todavia, a sua instalação aparece, também, condicionada por fraturas conjugadas (NW-SE e NE-SW) e fraturas NNW-SSE.

A carta geológica 1:25 000 produzida pelo INETTI para a Câmara Municipal de Fafe em Novembro de 2014, com sobreposição de um *layer* das linhas de água produzido pelo SNIRH e pelo INAG, referente ao Atlas da Água (2006) (Figura 3), faz um levantamento geológico mais pormenorizado da área administrativa do concelho, pelo que é possível verificar diferenças nas litofácies descritas na carta 1:200 000 (ano de publicação) e nas cartas 1:50 000 (ano de publicação) que consagram a zona em causa. Nesta cartografia, é descrito o Granito de Guimarães, se bem que os chamados Granitos de Braga e Fafe aqui aparecem descritos como sendo monzogranito biotítico com rara moscovite, porfiróide de grão médio, com frequentes

grãos de quartzo globular, e um monzogranito de duas micas, com tendência porfiróide, de grão fino, respectivamente.

Existem ainda vestígios de metassedimentos do Paleozoico, nomeadamente da Unidade de Vila Nune, com destaque para relevos de resistência de quartzofilitos no setor NE de Fafe e de um afloramento de xistos e metagrauwaques na zona de Armil (SW de Fafe). Os depósitos de cobertura (aluviões) do Holocénico estão na sua maioria circunscritos a ocupação de zonas de falha, o que os pode relacionar com a presença de antigas e recentes linhas de água.

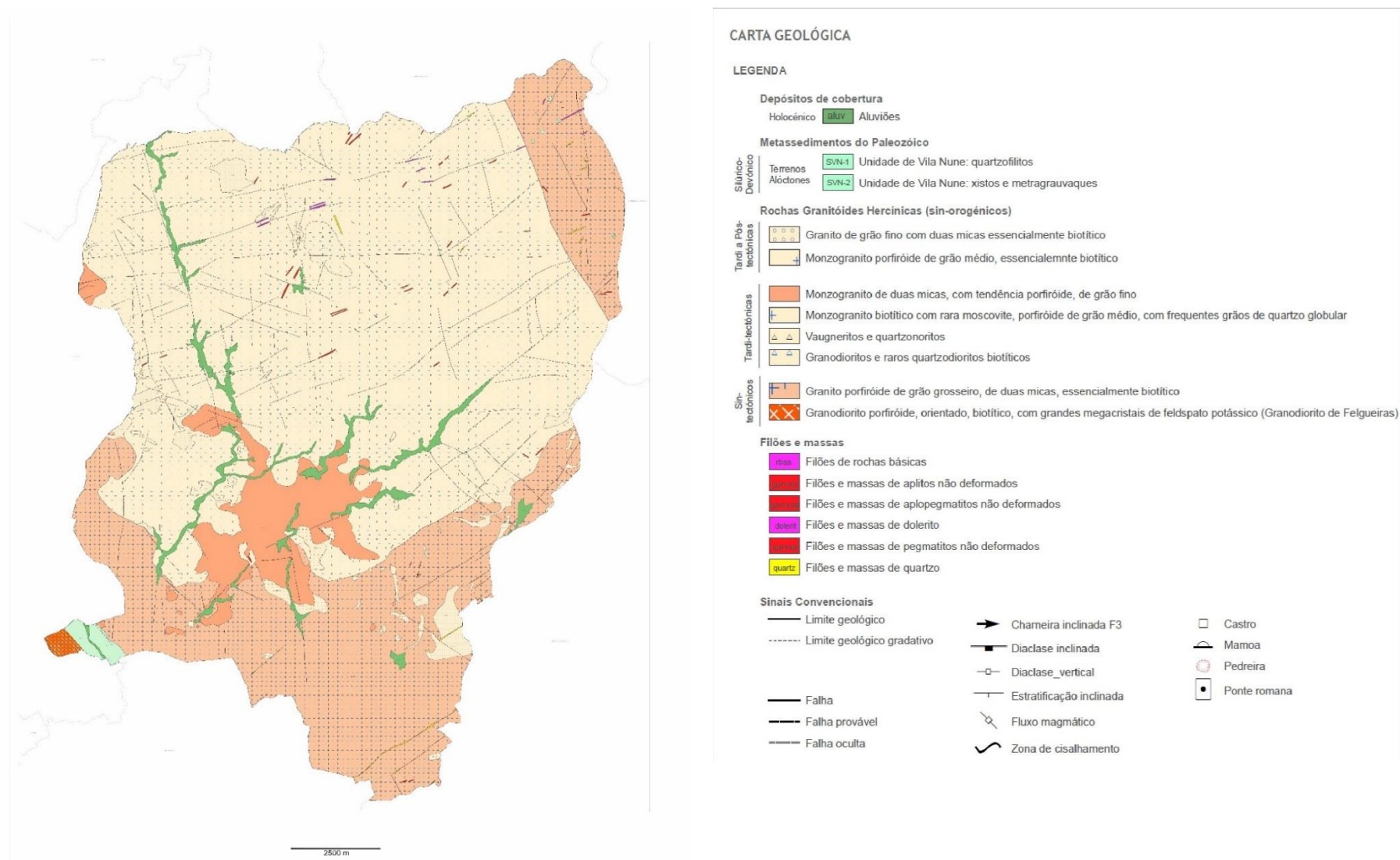


Figura 6-- Mapa geológico do concelho de Fafe, produzido pelo INETTI (2014), com a respetiva legenda.

A ocupação de material aluvionar nas zonas falhadas levanta a questão se existe algum tipo de paralelismo face a esta disposição: o mesmo é dizer se a água aproveita os abatimentos no terreno e o próprio encaixe geomorfológico dos blocos graníticos para fazer dessas estruturas percursos preferenciais para a circulação superficial.

Para tentar validar a premissa, foi realizado um trabalho de medição das atitudes, quer das fraturas, quer das linhas de água. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Figuras 4a e 4b, tendo sido escolhido um modelo de projeção em diagrama em roseta para aferir com mais facilidade as direções preferenciais.

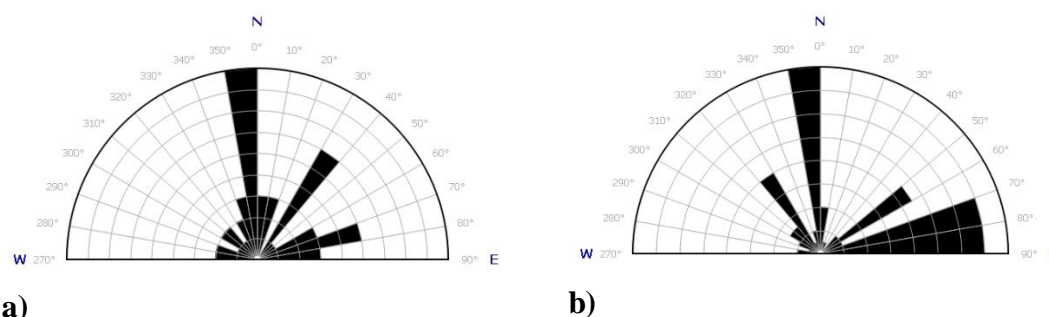


Figura 7- a). Diagrama em roseta das direções das fraturas; b). Diagrama em roseta das direções das linhas de água. Diagramas estabelecidos a partir da análise da Figura 6. Diagramas gerados a partir do software Georose

A análise da Figura 7a permite a distinção de 3 alinhamentos preferenciais de falhas: as direções mais representativas situam-se entre os 350° e os 360° (14%) e entre os 30° e 40° e os 70° e os 80°, com 10% e 8%, respetivamente. No caso da Figura 4b, que dá conta dos alinhamentos preferenciais das linhas de água, 16% com direções entre os 350°-360° e 2 conjuntos de alinhamentos com 14% de representatividade com direções entre os 70° e 80° e os 80° e os 90°.

Comparando os diagramas (Figura 7a,b), destaca-se a coexistência quer de alinhamentos de falhas, quer de linhas de água, segundo aproximadamente N-S.

A partir da observação da Figura 6 (ver também as considerações feitas à cerca do rio Vizela na secção 5.1), e olhando para a tendência dos rios e cursos de água do norte de Portugal, nota-se que estes seguem a direção de alinhamentos NE-SW a ENE-WSW. Neste tratamento estatístico, as direções NE-SW e ENE-WSW das linhas de água são, estatisticamente, pouco relevantes, uma vez que as linhas de água com estas direções sendo de maiores dimensões implicaram um menor número de medições efetuadas. Pelo contrário, no caso das linhas de água com direção N-S, estas são de menor dimensão e em maior número, daí que tenham uma

maior expressividade estatística, face ao total de direções medidas, embora sendo de menor importância geomorfológica.

O papel de controlo geomorfológico das fraturas é explicado por Ferreira (1981), relatando que os desligamentos tardi-variscos que atuaram sobre o material já rígido e o recortaram numa densa rede de fraturas tiveram particular desempenho na disposição dos volumes montanhosos, uma vez que alguns deles rejogaram durante os movimentos alpinos que se seguiram, dando origem às seguintes direções tectónicas: ENE-WSW, E-W e NW-SE, esta com menor frequência. A direção ENE-WSW, denominada bética, é a mais frequente e orienta os principais rios do Minho, que percorrem as direções paralelas com esta direção da Meseta Ibérica para NW. A direção N-S, chamada atlântica, acompanha vários rios secundários. A orientação NW-SE, dita varisca, corresponde a acidentes secundários no interior de grandes blocos.

Como visto anteriormente e em função das considerações de Ferreira (1981), existe uma grande percentagem de falhas ENE-WSW e N-S, e linhas de água com estas direções. O próprio comportamento das linhas de água na bacia hidrográfica do Vizela é amplamente concordante com as designações feitas pelo autor em relação à geomorfologia da área em estudo, em que, e já como foi descrito, são cursos de água bem encaixados entre blocos graníticos - os de maiores proporções com a direção ENE-WSW, e os menores direcionados segundo N-S.

Seguindo um dos objetivos principais deste trabalho que visa o estudo da circulação subterrânea da água em meio fraturado e, ainda, dentro da temática do estudo da fraturação, a Figura 8 apresenta as falhas foto interpretadas que consagram os pontos de controlo para o estudo das águas subterrâneas.

Da análise da Figura 8, resulta a identificação de três acidentes maiores, dois segundo a direção NNW-SSE e outro segundo a direção ENE-WSW (direção bética). Associadas aos acidentes principais, observam-se um conjunto de falhas menores. Por fim, ainda se observam, embora de menores dimensões, acidentes segundo a direção NE-SW.

A relevância do controlo tectónico-estrutural das falhas fica assim mais uma vez marcada, e desta vez no âmbito da circulação da água no meio subterrâneo, porque como pode ser visto na Figura 8, alguns dos pontos de água estão, certamente, em terrenos atravessados por falhas. Como já foi descrito na secção 3.2 (Circulação da água em meio subterrâneo fraturado), as fraturas desempenham um papel importante na circulação de águas subterrâneas, e do seu quimismo em meios graníticos.

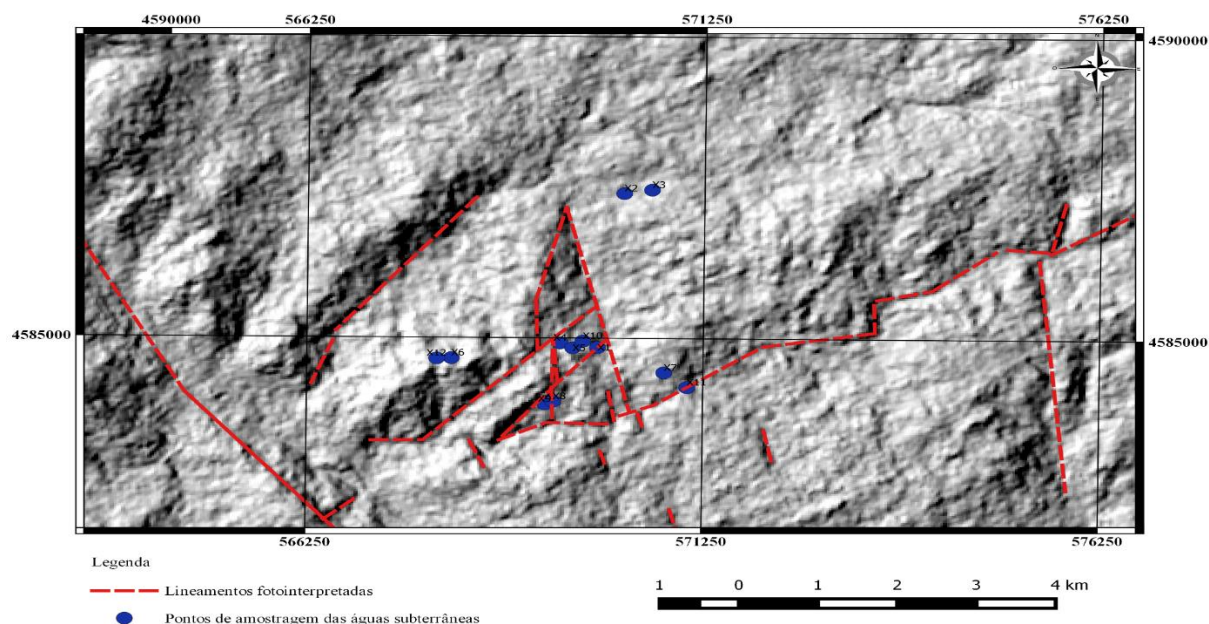


Figura 8- Lineamentos fotointerpretadas a partir de mapeamento altimétrico e com os pontos de controle das águas subterrâneas assinalados. Coordenadas WGS 84 / UTM zone 29.

6. Estudo da água subterrânea em meio fraturado

6.1 Estimativa da recarga subterrânea

6.1.1 Esgotamento de nascentes

A análise de hidrogramas de nascentes, em particular dos períodos de esgotamento, fornece importantes indicações sobre as características hidrológicas dos sistemas aquíferos a elas associados. Em períodos em que não há ocorrência de precipitação e em que, como consequência, não ocorre recarga, a descarga das nascentes provém da água armazenada no aquífero e o caudal tende a diminuir ao longo do tempo, até ocorrer novo período de recarga. Desta forma a variação do caudal das nascentes, em função do tempo, pode ser representada graficamente pela denominada curva de esgotamento. Conhecendo o caudal das nascentes, num determinado período de tempo de recessão, pode-se determinar o volume de reservas de água armazenadas através da expressão dada pela Equação 5 (Custódio e Lamas, 1983):

$$V_0 = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (\text{Equação 5})$$

Determinada a área do reservatório (A) é possível calcular a quantidade de água infiltrada (I) (Equação 6):

$$I = \frac{V_0}{A} \quad (\text{Equação 6})$$

em que:

α – é o coeficiente de esgotamento da nascente em dia⁻¹;

Q_0 – é o caudal da nascente no início da recessão, em m³/dia

Para calcular a taxa de infiltração esperada para a região, basta dividir I pela quantidade de precipitação que antecedeu o período em análise.

Primeiramente, e a fim de determinar o volume de reservas de água armazenada, e tal como ilustram as Figuras IIa, IIb, IIc, IId, e IIe, ANEXO 1, com as respectivas equações de regressão linear, os gráficos mostram a variação do caudal em três medições feitas nos dias 7, 21 e 29 de Junho de 2015. O facto de apenas se terem usado três medições resulta do efeito do acréscimo de outros valores de caudais aumentarem de forma muito significativa o valor de α , por meio de uma baixa correlação entre os valores dos caudais. Admite-se que o episódio de precipitação, responsável pela recarga aquífera, ocorreu entre o dia 1 de Abril de 2015 e o dia 29 de Junho de 2015, a que correspondem, no total, 229.3 mm de chuva. Em relação às áreas, estas foram determinadas a partir do *software QGIS*, com recurso à análise da Carta Militar n.º85 e n.º86 - Figura 9.

A Tabela 10 apresenta de forma resumida uma síntese dos valores obtidos por meio das Equações 1 e 2, bem como o valor da taxa de recarga para as diferentes áreas com as respectivas nascentes. A Tabela III, ANEXO 2, apresenta os dados referentes à precipitação medida num pluviómetro. Os pontos X2, X6 e X12 não são considerados, uma vez que não foi possível fazer medições de caudal nesses locais, não sendo possível a determinação da recarga subterrânea por meio do método de esgotamento de nascentes.

Tabela 10 - Cálculo de recarga subterrânea a partir de dados de esgotamento de nascentes.

| | Pontos X1, X4, X5 e X10 | Pontos X8 e X9 | Ponto X3 | Ponto X7 | Ponto X11 |
|------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|
| Área (m ²) | 4.020E+05 | 1.249E+05 | 1.398E+05 | 2.721E+05 | 1.349E+05 |
| Q_0 (m ³ /dia)* | 24.640 | 45.290 | 21.480 | 25.510 | 6.590 |
| α^{**} | 0.003 | 0.012 | 0.004 | 0.003 | 0.057 |
| V_0 (m ³) | 7247.059 | 3938.261 | 5966.667 | 8503.333 | 116.637 |
| I (Infiltração) | 18.026 | 31.539 | 42.667 | 31.246 | 0.865 |
| Taxa Recarga (%) | 7.861 | 13.755 | 18.608 | 13.627 | 0.377 |

* Q_0 (m³/dia) - valor da ordenada na origem;

** α - declive da reta.

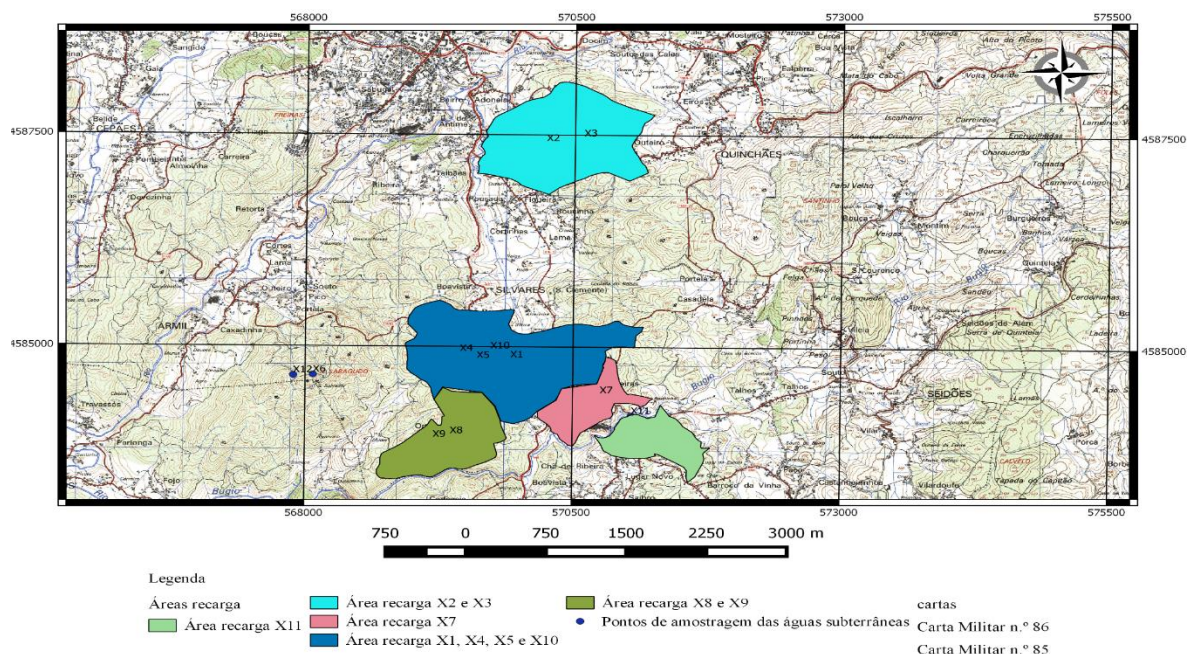


Figura 9- Apresentação das áreas de recarga das nascentes. Coordenadas WGS 84 / UTM zone 29N.

6.1.2 Balanço de cloretos

De forma sucinta, este método compara os teores de cloreto da água que se infiltra e as concentrações de cloreto nas águas subterrâneas.

A determinação do balanço de cloretos foi feita recorrendo à Equação 3 (Lima, 2001):

$$R(\%) = \frac{C_p}{C_a} * P * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

C_p – concentração de ião cloreto água da chuva;

C_a – concentração de ião cloreto água subterrânea;

P – Precipitação.

A Tabela 11 apresenta os resultados dos teores de cloretos nas amostras, e as 5 de recarga em função dos valores do ião cloreto da análise da amostra de chuva, 1.140 mg/L, e de um valor médio do ião cloreto para a água da chuva proposto por Lima (2001), de 4.857 mg/L. O total de precipitação considerado foi, tal como no primeiro método proposto, de 229.3 mm. Os resultados obtidos para a taxa de recarga, evidenciam uma

diferença significativa, para menos, quando considerado o teor de cloretos da água da chuva colhida e analisada neste estudo. Visto tratar-se de uma única amostra, e da dificuldade em medir com precisão os componentes iônicos duma água muito pouco mineralizada (Custódio e Llamas, 1983), parece-nos mais correto considerar o valor médio de cloreto obtido por Lima (2001) já que este se baseou na análise de diversas amostras de água da chuva.

Tabela 11 - Cálculo de recarga subterrânea a partir do método de balanço de cloretos.

| | Pontos X1, X4, X5 e X10 | Pontos X8 e X9 | Ponto X3 | Ponto X7 | Ponto X11 | Pontos X6 e X12 |
|--|------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| Teor ião cloreto das amostras | 9.082 | 7.761 | 8.054 | 5.670 | 15.193 | 6.540 |
| % Recarga ião cloreto em função da água da chuva analisada. | 2.878 | 3.368 | 3.246 | 4.610 | 1.721 | 3.997 |
| % Recarga ião cloreto em função de valores médios* | 12.262 | 14.350 | 13.828 | 19.641 | 7.330 | 17.029 |

*% Recarga ião cloreto em função de valores médios – obtido a partir de Lima (2001).

Os valores da recarga subterrânea calculados, quer pelo caudal de esgotamento de nascentes, quer pelo balanço de cloretos, apresentam valor idêntico – cerca de 14% -, para as nascentes X8 e X9; as nascentes X3 e X7 apresentam valores entre 14 e 20% pelos dois métodos, a nascente X12 é a que apresenta menores valores de recarga (0.4% pelo método do esgotamento de nascentes e 7.3% pelo balanço de cloretos); o conjunto das nascentes X1, X4, X5 e X10, que pertencem todas à mesma área de drenagem, têm uma taxa de recarga entre 8 e 12%.

Os resultados obtidos estão dentro dos valores encontrados na bibliografia para regiões com características climáticas e hidrogeológicas semelhantes (Larsson, I, coord, 1984; Lima, 2001).

6.2 Caracterização hidrogeoquímica

6.2.1 Métodos analíticos e verificação da precisão analítica

Segundo Oppenheimer e Eaton (1986), a verificação da precisão analítica das amostras de água deve ser feita mediante as seguintes relações interparamétricas:

- o balanço de carga;
- o total de sólidos dissolvidos medido (TSDm) deve ser igual ao calculado (TSDc);
- a condutividade elétrica medida (CEm) deve ser igual à calculada (CEc);
- a CEm deverá ser aproximadamente igual a 100 vezes a soma dos cátions (ou aniões em meq/L;
- o TSDm deverá apresentar uma dada relação (mais ou menos constante) com a CEm;
- o TSDc deverá apresentar uma relação certa com a CEm.

Na realização deste trabalho não foi possível aferir o TSDm, pelo que não poderão ser consideradas as relações que contemplam este parâmetro

A – Erro de Balanço de Cargas

O cálculo do erro de balanço de cargas (EBC) faz-se por meio da Equação 5, sendo as unidades expressas em meq/L:

$$EBC(\%) = \frac{\Sigma \text{cátions} - \Sigma \text{aniões}}{\Sigma \text{cátions} + \Sigma \text{aniões}} * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Quer para este cálculo, quer para os restantes, o Σ cátions contempla os iões Ca^{2+} , K^{+} , Na^{+} e Mg^{2+} , e o Σ aniões os iões Cl^{-} , NO_3^{-} , HCO_3^{-} e SO_4^{2-} .

Tratando-se de mineralizações até 6,0 meq/l, admitem-se diferenças de 0,2 meq/l entre os somatórios de cátions e aniões (Oppenheimer e Eaton, 1986).

B - Total Sólidos Dissolvidos (TSD)

O cálculo do TSD é feito mediante a Equação 2, com as unidades expressas em mg/L:

$$TSD = 0.6(alcalinidade) + \Sigma cations + \Sigma anions + sílica \quad (\text{Equação 6})$$

A alcalinidade deve ser multiplicada por 0.6 já que é expressa em mg/L de CaCO_3 . Por isso apenas o CO_3 deve ser considerado, já que o Ca é determinado separadamente.

C – Condutividade Elétrica

Para águas naturais com TSD inferior a 2500 mg/L o cálculo da condutividade elétrica pode ser efetuado por meio da Equação 7 (Greenber *et al*, 1992):

$$K_{cale} = K^0 * y^2 \quad (\text{Equação 7})$$

em que:

K_{cale} – condutividade elétrica calculada, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25°C ;

K^0 – condutividade elétrica calculada, para uma diluição infinita, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25°C ;

Y – coeficiente de atividade.

A condutividade elétrica para uma diluição infinita pode ser determinada mediante a expressão dada pela Equação 7.1:

$$K^0 = \Sigma |z_i| (\lambda_{+i}^0)(mM_i) + \Sigma |z_i| (\lambda_{-i}^0)(mM_i) \quad (\text{Equação 7.1})$$

onde:

$|z_i|$ – valor absoluto da carga do ião i ;

mM_i – concentração milimolar do ião i ;

$\lambda_{+i}^0 \lambda_{-i}^0$ – condutividade equivalente do ião i .

Os valores de condutividade equivalente dos diferentes iões encontram-se tabelados e foram consultados em Dean (1985). Lima (2001) citando Rossum (1975), afirma que os contributos dos iões H^+ e OH^- só são significativos para valores de pH inferiores a 5 e superiores a 9, respetivamente.

O coeficiente de atividade, y , é calculado pela Equação 6.2:

$$y = 10^{-0.5 \left[\frac{IS^{-0.5}}{1 + IS^{-0.5}} - 0.3 \cdot IS \right]} \quad (\text{Equação 7.2})$$

A força iónica, FI , é determinada pela Equação 6.3:

$$FI = \frac{\sum z_i^0(mM_i)}{2000} \quad (\text{Equação 7.3})$$

A análise da Figura 10 relativa aos valores obtidos para o erro de balanço de cargas (%), denota que a única amostra que satisfaz a condição $EBC (\%) \leq 5$ proposta por Oppenheimer e Eaton (1986), é a amostra X12. A explicação para os demais resultados poderá estar num sobreenriquecimento aniónico, por parte do ião bicarbonato, ou por erros analíticos comuns quando se analisam águas muito pouco mineralizadas, como é o caso em estudo.

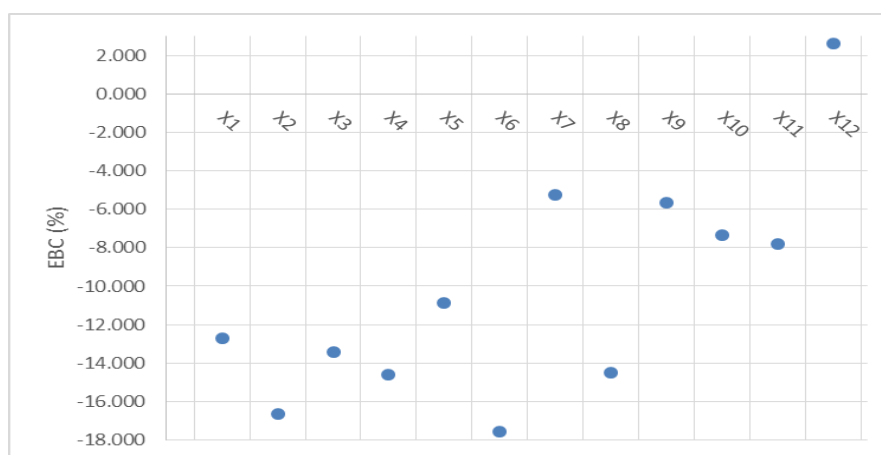


Figura 10– Valores dos erros balanço de cargas (%) referentes aos resultados analíticos das amostras.

A Figura 11 dá conta da relação entre o CEC e a CEm. Destaca-se que 8 das 12 amostras estão fora do intervalo limite de 0.9 e 1.1 proposto por Oppenheimer e Eaton (1986). Os valores que apresentam um coeficiente elevado podem ser explicados pela baixa CEm, que poderá advir do facto de se tratar de águas muito pouco mineralizadas.

Não obstante, é de assinalar a possível ocorrência de erros de preservação e processamento das amostras. Da análise da Tabela IV, ANEXO 2, que dá conta dos dados de verificação da precisão analítica, constata-se que o Σ aniões x 100 não se aproxima dos valores da CEm.

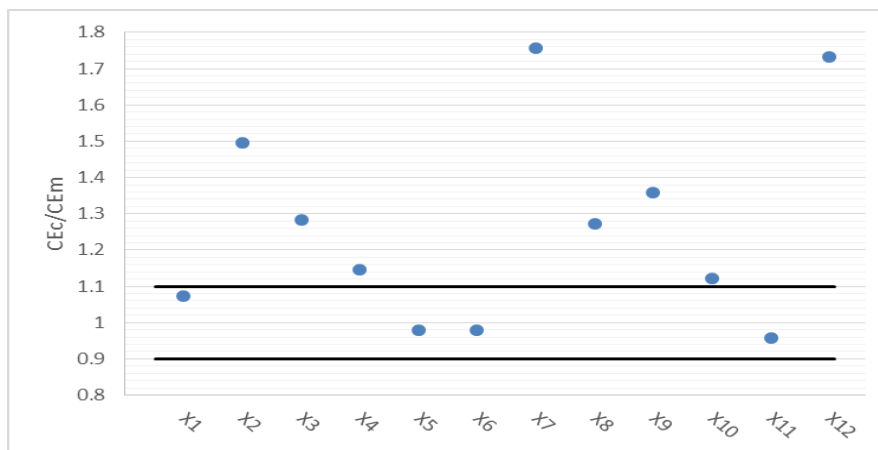


Figura 11- Valores da relação CEC/CEm dos resultados analíticos das amostras.

Relativamente à relação TSDc/CEm os valores encontrados nos resultados analíticos devem estar compreendidos entre 0.55 e 0.7 (Oppenheimer e Eaton, 1986). Os resultados obtidos estão representados na Figura 12.

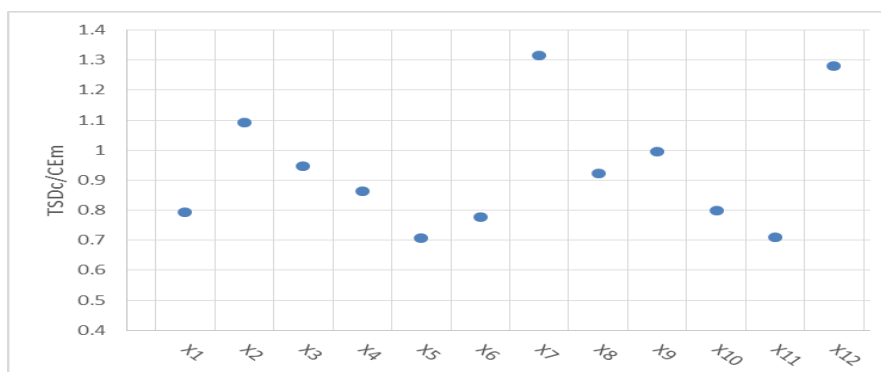


Figura 12- Valores da relação TSDc/CEm dos resultados analíticos das amostras.

Como é perceptível pela interpretação do gráfico, todas as amostras têm uma relação TSDc/CEm acima do limite proposto. A origem destes resultados pode dever-se à presença de teores significativos de substâncias não dissociadas, como as espécies de Si, que levam a um aumento do TSDc.

Em suma, os resultados das análises não correspondem ao postulado por Oppenheimer e Eaton (1986), mas o não cumprimento dos requisitos não invalida as análises, já que o que fica patente com estas verificações analíticas são indícios de águas pouco mineralizadas e com teores relativos de sílica elevados. Recorde-se ainda o facto de para o Σ aniões e Σ catiões não terem sido contabilizados o F, NO₂, Br, PO₄, e Fe, Cu,

P, S, Zn, respetivamente, o que faz com que parâmetros como o EBC e o TSDc alterem de forma significativa.

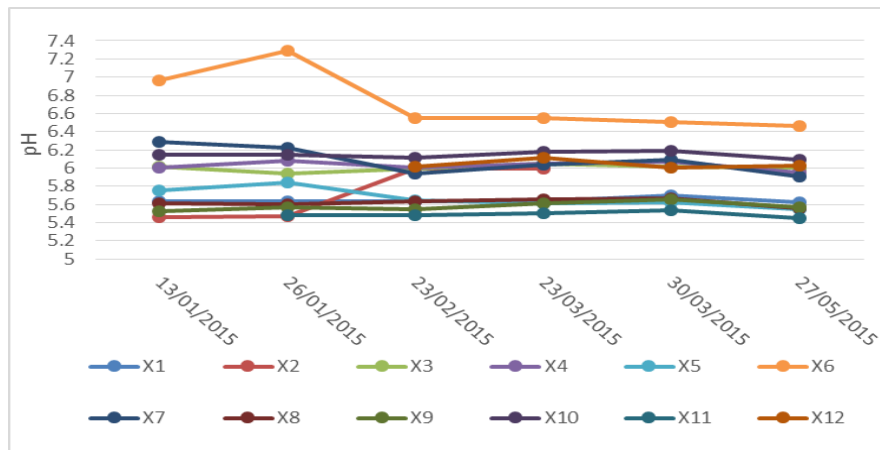
6.2.2 Parâmetros de campo

No decorrer do trabalho, e tal como já foi descrito no Ponto 4, foram medidos no campo os valores de pH, condutividade elétrica e temperatura (Tabela V, ANEXO 2). Na Figura 13 são apresentados os seus valores e a sua variação ao longo do tempo, nos diferentes locais de controlo das águas subterrâneas.

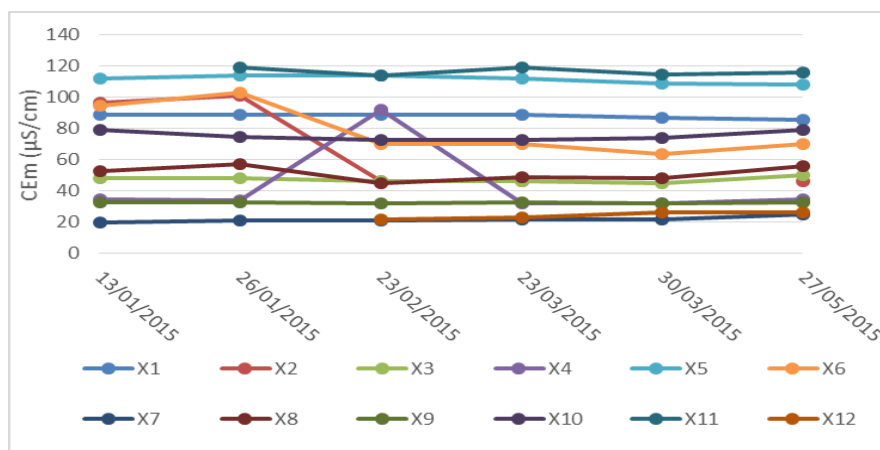
No que diz respeito ao pH verifica-se que praticamente todas as amostras se enquadram no domínio ácido (Figura 13- a)), apresentando valores entre os 5 e os 7. Casos em que a variação não esteja compreendida entre o limite referido constituem casos excecionais.

A Figura 13- b) mostra a gama de valores da condutividade elétrica medida, com as amostras a variarem entre os 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os pontos X2, X4 e X6 são os locais onde a água apresenta maiores flutuações de valores de CEm, enquanto que os restantes se apresentam constantes ao longo do tempo. A condutividade elétrica pode ser descrita como a capacidade que a água tem em transmitir uma corrente elétrica, sendo essa capacidade proporcional à quantidade de iões dissolvidos. É expectável que as águas subterrâneas devam apresentar uma composição química constante, pelo que a condutividade elétrica não deva sofrer grandes alterações. Caso estas existam, e existem nos três pontos destacados, pode significar que se tratam de águas mais superficiais e vulneráveis a alteração físico-química promovida por fenómenos atmosféricos e/ou climáticos. As flutuações dos valores da CE podem também levar a crer que a água se possa encontrar contaminada, ficando em aberto a hipótese de ser uma contaminação natural ou antropogénica.

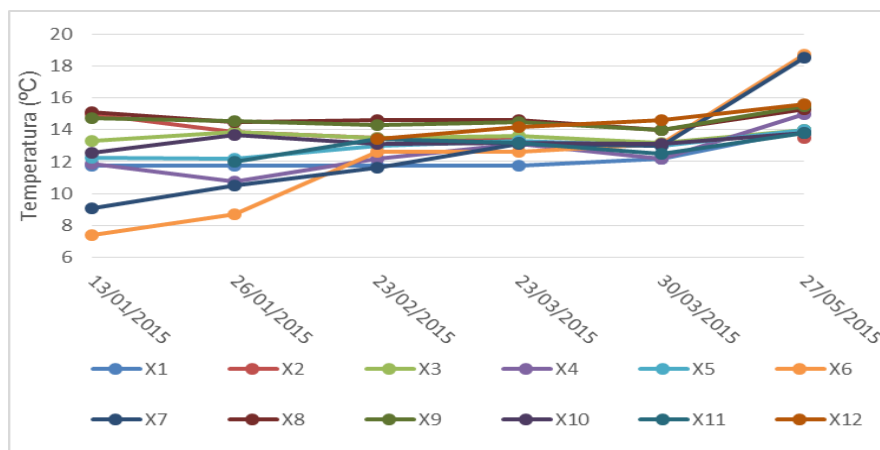
Relativamente à temperatura (Figura 13- c)), destacam-se o ponto X6 e o ponto X7, por, em períodos temporais distintos, apresentarem as temperaturas mais extremas, contrariando a tendência das outras águas que demonstram variação de temperaturas menor, com o intervalo entre os 12°C e os 15 °C. Tratam-se, por isso, de águas hipotermais, a ortotermais, segundo a classificação de Schöeller (1962).



a)



b)



c)

Figura 13 - Parâmetros de campo registrados. a).pH; b). Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$); c). Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

6.2.3 Sílica

A Figura 14 apresenta a distribuição dos valores de Si por amostra, sendo o valor médio de 8.3 mg/L de Si, no total das 12 amostras.

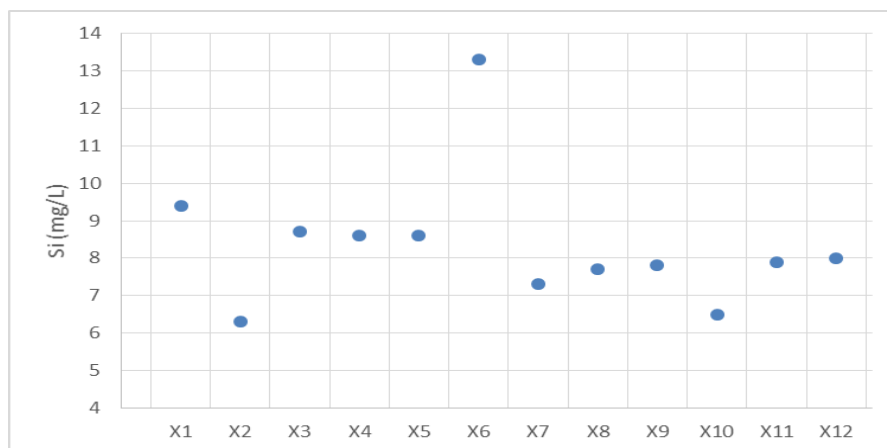


Figura 14– Valores de Si (mg/L) nas amostras

Em termos de mineralização total das amostras, a sílica representa percentagens que variam entre os 8% e os 27% (Figura 15). A Figura 16 ilustra uma correlação razoável entre a sílica e o bicarbonato, o que realça a importância da hidrólise dos silicatos na mineralização das águas (Lima, 2001).

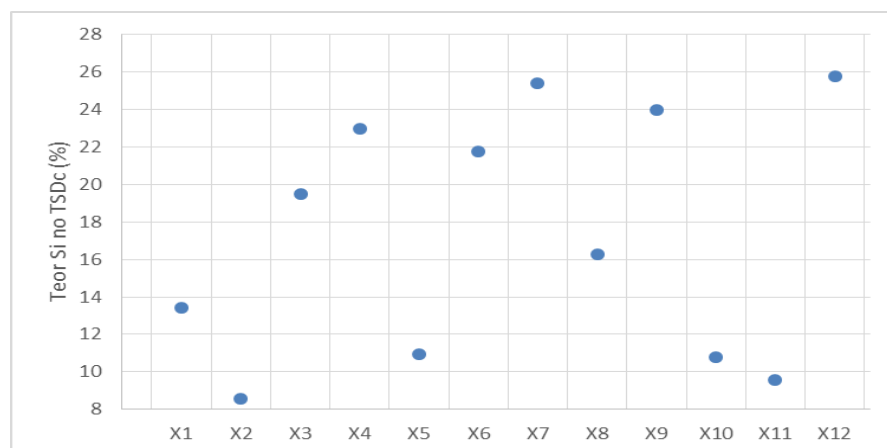


Figura 15- Percentagem de Si no total da mineralização para cada amostra.

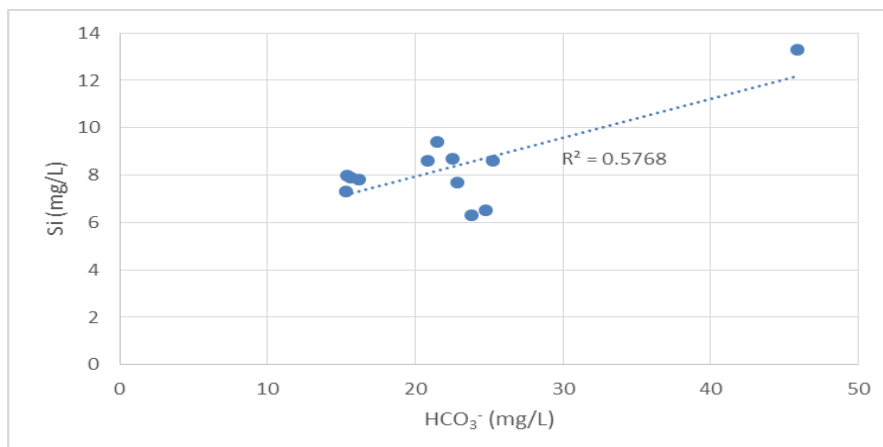


Figura 16- Diagrama de dispersão dos teores de sílica e de bicarbonato das amostras.

6.2.4 Alcalinidade e dureza

Os valores da alcalinidade e dureza podem ser consultados na Tabela VI, ANEXO 2. Os valores de alcalinidade foram dados nas análises pelo Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho, e por sua vez a dureza foi calculada segundo a Equação 7. Segundo Custódio e Llamas (1983), as águas podem ser classificadas, quanto à sua dureza, como águas brandas $\text{CaCO}_3 < 50 \text{ mg/L}$.

$$\text{Dureza} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \text{Ca} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * 2.497 + \text{Mg} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) * 4.117 \quad (\text{Equação 8})$$

6.2.5 Mineralização total

Com base na composição maioritária (incluindo a sílica) das amostras, elaborou-se um gráfico com a distribuição da mineralização total (Figura 17), calculada pela expressão dada pela Equação 6. Cerca de metade das amostras apresentam uma mineralização superior a 50 mg/L. Os pontos X1, X2, X5 e X11 possuem uma mineralização superior a 50 mg/L, com valores de $\text{NO}_3^- > 0.1 \text{ meq/L}$. É expectável que estas amostras tenham mineralizações mais elevadas devido a contaminações por nitratos, pelo que, na sua maioria, estas águas são pouco mineralizadas, de acordo com as características geológicas e litológicas. Todos os casos são referentes a pontos de controlo e amostragem de água situadas nas proximidades das superfícies, drenando, por isso, a parte mais superficial da zona saturada das estruturas geológicas após reduzidos tempos

de permanência. Nestes locais há convergência de dois fatores: circulação rápida e baixa evapotranspiração real, o que é determinante na origem das baixas mineralizações (Lima, 2001). Chama-se a atenção do facto de os pontos X6 e X10 apresentarem uma mineralização total superior a 50 mg/L (cerca de 60 mg/L), e que, por estarem próximos do limite, se considera que tenham o mesmo regime de circulação acima proposto.

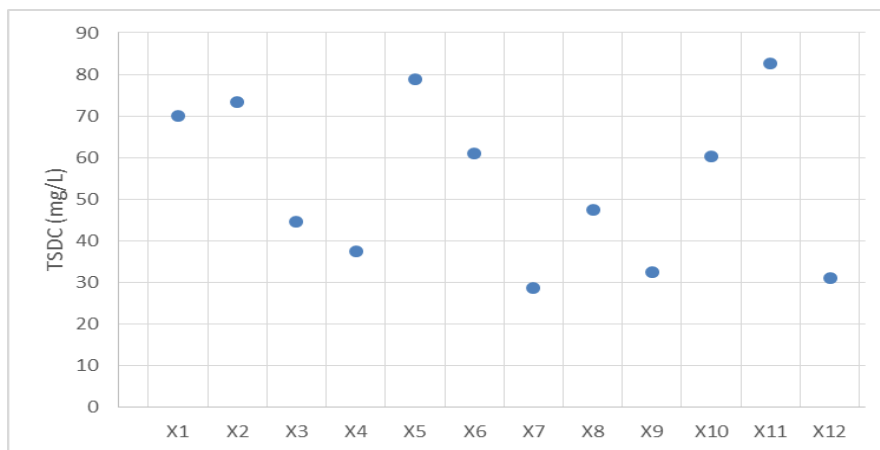


Figura 17- Valores da mineralização total das amostras.

6.2.6 Composição vestigiária

Como pode ser visto na Tabela VII, ANEXO 2, além da análise aos constituintes maioritários da água, foram também efetuadas determinações dos teores dos seguintes compostos: Ba, Al, Mn, Ag, As, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, P, Pb, Sb, S, Se, Sn, Te, Ti, U, V, W, Zn. À exceção do P, cujos teores são detetados pelo método analítico utilizado, os restantes elementos apresentam, na maioria dos casos, concentrações abaixo do limite de deteção.

No que toca ao P, os teores variam entre 0.03 mg/L e 0.15 mg/L, mas destaca-se que no mesmo boletim de análise se assinala a presença de PO_4^{2-} , expectando-se que seja o fosfato a espécie dominante do fósforo. A sua origem poderá estar relacionada com minerais fosfatados, como o caso do fosfato de cálcio (Apatite). A Figura 18 mostra que a relação entre o Ca e o PO_4^{2-} é muito baixa, pelo que se poderá prever uma entrada de fosfatos através de contaminações por excrementos e dejetos animais ou de fertilizantes.

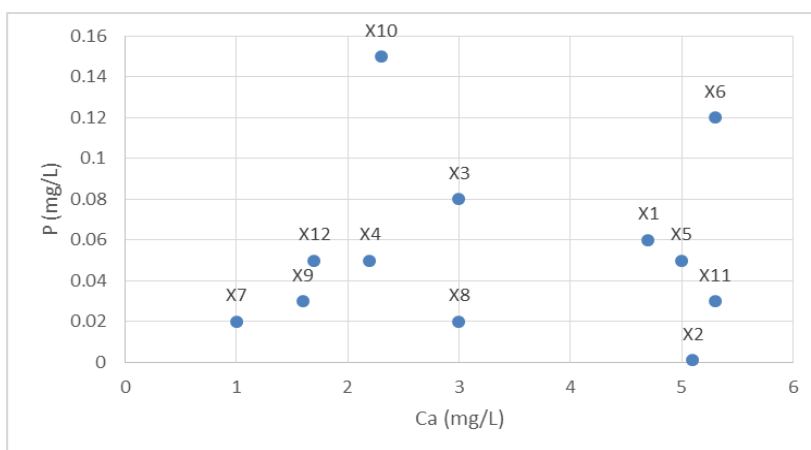


Figura 18– Diagrama de dispersão dos teores de fósforo e cálcio das amostras.

Distinguem-se dois grupos de amostras: no primeiro grupo, as amostras X7, X9, X12, X4 e X3 e X6 têm um aumento gradual de Ca e PO_4^{2-} , que pode ter origem na alteração de apatite; no segundo, as amostras X11, X5, X1 e X10 mostram um aumento gradual de PO_4^{2-} ; e uma diminuição da concentração em Ca, podendo indicar que estas águas estejam a ser contaminadas por fosfato de origem agrícola. De acordo com esta interpretação a amostra de água X10 deverá ser a que apresenta maior contaminação agrícola.

Visualizando a Tabela 10, ANEXO 2 que dá conta da matriz de correlação dos elementos, afere-se que o Ca tem uma baixa correlação com HCO_3^- , pelo que a maior presença de Ca não está ligada a carbonatos.

6.2.7 Composição maioritária

6.2.7.1 Classificação químico-genética

A projeção da composição química das 12 águas em estudo no diagrama de Schoeller (Figura 19) mostra que a nível da composição iónica não se identificaram diferenças significativas entre as amostras analisadas, pelo que as maiores concentrações aniónicas são de bicarbonato e cloreto, e os catiões com maiores concentrações são o par sódio-potássio.

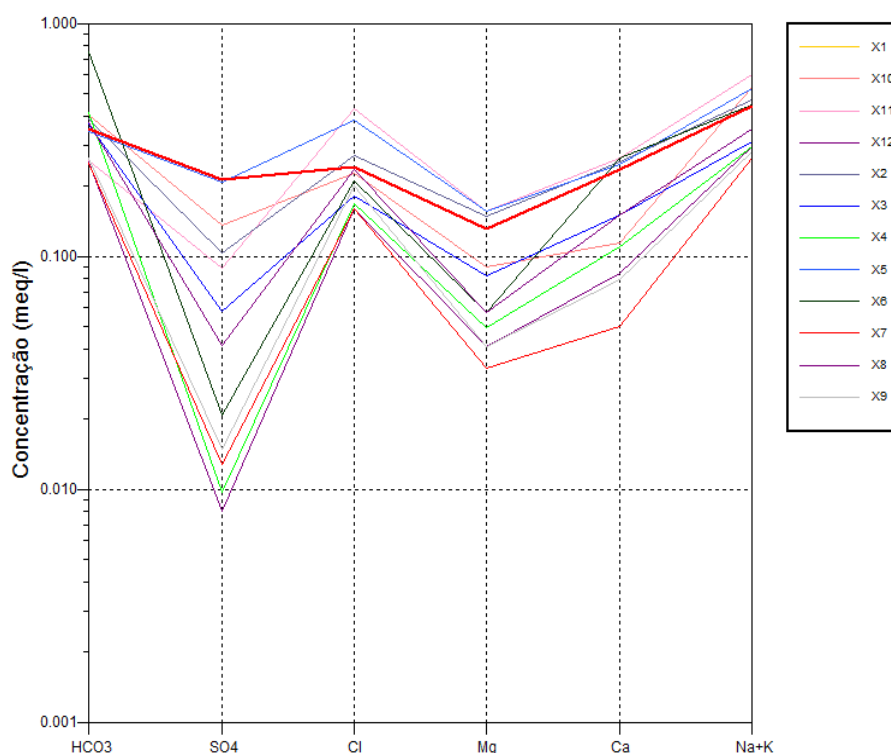


Figura 19- Projeção da composição química das 12 amostras no diagrama de Schoeller (gráfico gerado no software Aquachem).

A Figura 20, que ilustra o diagrama de Piper, põe em evidência as observações feitas à Figura 19, já que no triângulo catiónico as 12 amostras se encontram quase sobrepostas no domínio do par sódio-potássio. No triângulo aniónico, apenas a amostra X11 é dominada pelo ião cloreto, classificando-se como cloretada-sódica, as amostras X1 e X5 localizam-se numa zona intermédia entre o cloreto e do bicarbonato, classificando-se como bicarbonatadas/cloretadas-sódicas; as restantes 9 amostras apresentam uma maior dominância do ião bicarbonato pelo que se classificam como bicarbonatadas-sódicas, sendo a X6 a água com maior teor em HCO_3^- .

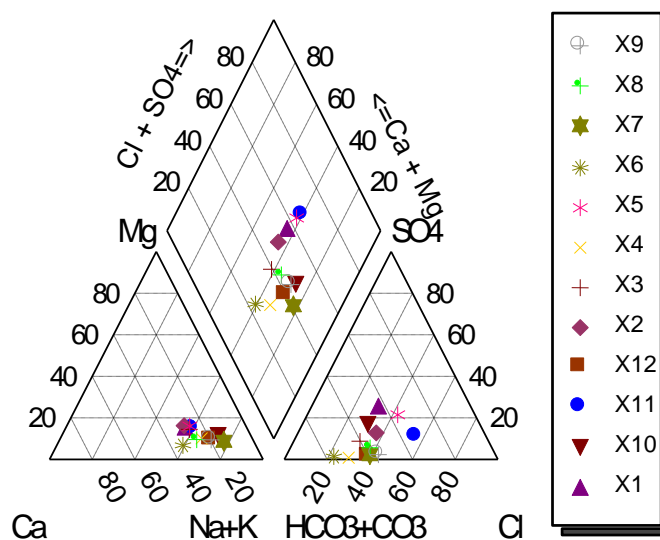


Figura 20- Projeção da composição química das 12 amostras em diagrama de Piper (gráfico gerado no software Aquachem).

6.2.7.2 Especificação

Utilizando o programa PHREEQC, presente no software *Aquachem* obteve-se o resultado da especificação dos elementos químicos identificados e quantificados nas amostras de água, referidos na Tabela VIII, ANEXO 2.

As espécies de alumínio presentes nas amostras surgem maioritariamente sob a forma de hidróxidos de alumínio, registando-se ainda a existência deste elemento como ião alumínio e fluoreto de alumínio, pelo que estas duas últimas espécies, e com exceção da amostra X3, surgem em percentagens iguais ou próximas.

Constata-se que o carbono está maioritariamente sob a forma de dióxido de carbono, o que é expectável face às gamas de pH que favorecem a formação do ácido carbónico. A amostra X10 é a que apresenta um maior equilíbrio face às espécies de carbono (51.85% de dióxido de carbono e 48.08 de bicarbonato). Para o caso de maior surgimento de bicarbonato, este pode ser explicado pelo facto de nas amostras em que isso sucede, os valores de pH serem mais elevados, o que faz com que favoreça a formação de bicarbonato.

O silício, e tal como se fazia prever face aos valores de pH, aparece em 100% na forma de ácido silícico, com exceção das amostras X6 e X12. Estes dois casos apresentam

uma percentagem quase vestigial de H_3SiO_4^- . O hidrogénio aparece em cerca de metade sob a forma diatómica.

O bromo aparece unicamente sob a forma de ião brometo, tal como o cloro que surge em exclusivo sob a forma do ião cloreto.

O sódio, o potássio e o fluor surgem quase na totalidade nos seus iões monovalentes. O cálcio, o magnésio e o ferro no estado de oxidação dois surgem quase na totalidade nas espécies iónicas bivalentes de cada elemento.

O zinco surge essencialmente na sua forma iónica bivalente, com presença nas amostras X1, X2, X3, X5, X6, X9, e X12.

Por fim, destaca-se a maior preponderância percentual do ferro no estado de oxidação 3 na forma de hidróxido de ferro (II), o azoto no estado de oxidação 3 a aparecer unicamente como ião nitrito, e o enxofre no estado de oxidação seis surge maioritariamente como ião sulfato.

6.2.7.3 Estudo equilíbrio água-rocha

A composição química de uma água subterrânea está intimamente relacionada com as interações entre esta e a rocha, ao longo do seu percurso. A dissolução e/ou precipitação de minerais exerce um controlo, por vezes, decisivo, sobre o tipo e concentração das espécies dissolvidas (Carvalho e Almeida, 1989).

Para a interpretação destes fenómenos recorreu-se a um modelo de estado de equilíbrio, com base no índice de saturação (IS). A Tabela IX, ANEXO 2 dá a conhecer os índices de saturação para as 12 amostras, determinadas a partir do programa PHREEQC do software *Aquachem*.

Na maioria dos casos a água está subsaturada em relação às espécies minerais consideradas pelo programa, com exceção dos minerais de ferro -hematite e goethite-, e de um mineral de silício, o quartzo. A calcedónia, polimorfo de quartzo, está em equilíbrio com a água da amostra X1 e na amostra X6, esta está sobressaturada neste mineral, pelo que as restantes amostras estão subsaturadas.

As amostras X1, X2, X5, X10 e x11 estão sobressaturadas em alunite (sulfato de alumínio potássico), análoga da jarosite por meio da substituição do Fe^{+3} pelo Al^{+3} .

Os índices de saturação mineralógicos apontam ainda para uma sobressaturação das águas nas espécies de argila de caulinite e montmorilonite. Destacam-se ainda as amostras X6 e X10 por estas estarem sobressaturadas em ilite.

6.2.7.4 Análise da correlação dos elementos

A Tabela X, ANEXO 2, apresenta a matriz de correlação entre os elementos químicos e os parâmetros pH e condutividade elétrica.

Em relação à condutividade elétrica, a matriz evidencia elevada correlação entre esta e o Mg, o NO₃, o Na e o Cl, pelo que serão estes iões a contribuir maioritariamente para a mineralização das águas. Quanto à origem destes iões, o Mg deverá ter origem na hidrólise das biotites, o NO₃ resulta da solubilização de adubos nitrogenados e o Na e o Cl devem ter origem maioritariamente nos processos de evaporação da água, embora algum Na possa também provir da alteração das plagioclases frequentes nos granitos.

A sílica correlaciona-se com o bicarbonato e com o flúor, o que indica que há alteração de silicatos com F.

O SO₄ correlaciona-se com o Fe e com o Mg, devendo ser provenientes da oxidação e posterior dissolução de sulfuretos.

6.3 Ensaio geofísico em terreno granítico para verificação das condições hidrogeológicas e estruturais do subsolo

6.3.1 Resistividade elétrica

No método de resistividade, é injetada corrente elétrica no terreno através de um par de elétrodos (elétrodos de corrente) e é medida a diferença de potencial resultante entre outro par de elétrodos (elétrodos de potencial). A resistividade do terreno é então calculada a partir das distâncias entre os elétrodos, corrente aplicada e diferença de potencial medida, com base na Lei de Ohm. O resultado é a resistividade do terreno em Ohm.m ou o seu inverso, a condutividade em Siemen (S)/metro (Oliveira, 2009).

A prospeção pelo método da resistividade elétrica foi realizada com recurso a um equipamento de aquisição automática multielectrónico (48 elétrodos) da marca *Iris Instruments*, modelo *R1 Plus, Switch 48*, gentilmente cedido pelo Professor Doutor Rui Moura, da Universidade do Porto.

Por motivos logísticos realizou-se uma única pseudo-secção (PS), no dia 17 de julho de 2015, localizada conforme se mostra na Figura 3, ANEXO 1. O solo superficial encontrava-se seco, exceto numa pequena extensão sujeita a rega regular, por motivos agrícolas, o que obrigou ao humedecimento dos contactos entre os elétrodos e o solo. O

espaçamento entre eléctrodos foi cerca de 5m, para um comprimento total do dispositivo de cerca de 235m.

O dispositivo adotado foi o pólo-dipolo, com 38 níveis e uma profundidade de investigação estimada em cerca de 80 m. O eléctrodo remoto foi colocado a uma grande distância, de modo a garantir as condições de realização ideais do dispositivo (Keller & Frischknecht, 1966; Telford *et al.*, 1990; Robain *et al.*, 1999). Tratando-se de um dispositivo assimétrico, realizaram-se leituras em modo directo (*forward*) e inverso (*reverse*) (Loke, 2014; Loke *et al.*, 2013).

A planificação da PS foi realizada com o *software* Electre Pro V. 02.03.00 (Iris Instruments). O total de leituras programado, em cada um dos modos directo e inverso, foi 1080, totalizando 2160 leituras que foram sujeitas a inversão. A inversão/modelação dos dados foi realizada com o *software* Res2Dinv V. 3.56.22 (Geotomo Software).

O modelo apresentado, resultante da inversão da PS (Figura IV. ANEXO 1), é compatível com uma compartimentação do maciço granítico em blocos.

Lateralmente os blocos parecem delimitados por fracturas subverticais, com espaçamentos variáveis. Na ausência de informação estrutural mais detalhada, estas fracturas poderão assumir-se como correlacionáveis com os lineamentos fotointerpretados, com direcção genérica segundo NNE-SSW.

No bordo WNW da PS, estas estruturas serão, provavelmente, mais profundas, enquanto que, na metade oriental do modelo, poderão não se prolongar em profundidade ou, a prolongarem-se, não afectam significativamente o comportamento geoeléctrico do maciço perante o dispositivo realizado.

Este grupo de estruturas conjuga-se com outro grupo, sub-horizontal, provavelmente resultante da descompressão (alívio de carga) do maciço granítico. Neste grupo são identificáveis três estruturas principais, a profundidades variáveis, que delimitam quatro níveis geoeléctricos sub-horizontais.

A estrutura mais superficial, a profundidades variáveis, estimadas entre 5 m e 15 m, delimita a base do primeiro nível geoeléctrico, genericamente muito resistivo (resistividades aparentes superiores a 600 Ohm.m até vários milhares de Ohm.m). Este nível deverá corresponder ao solo de origem granítica e parte mais superficial do maciço, desidratado. O sector mais ocidental, localizado entre 40 m e cerca de 90m da origem da PS, que exhibe resistividades mais baixas, poderá justificar-se pelo facto de recair sobre uma parcela agrícola, frequentemente sujeita a rega, conforme informações recolhidas junto do respectivo proprietário.

Em profundidade os materiais exibem resistividades genericamente menores, ao longo de um segundo nível com espessura variável, com a base a profundidades estimadas entre cerca de 15 m e 25 m, no seio do qual se identificam blocos muito resistivos (entre 50 m e 55 m, 100 m e 120 m e outros blocos após 160m da origem da PS).

O nível subjacente, também ele com espessura variável, com base a profundidades estimadas entre cerca de 25 m e 50 m, exhibe um comportamento idêntico ao anterior, com blocos mais resistivos delimitados nos sectores entre 75 m e 90 m, e entre 120 m e 160 m do início da PS.

Abaixo deste, no último nível geoelectrico, identificam-se dois blocos principais. O sector entre o início da PS e cerca de 100 m da sua origem, menos resistivo, contrasta lateralmente com um bloco de maiores dimensões com resistividades muito elevadas (resistividades superiores a 5000 Ohm.m).

6.3.2 Georadar (GPR)

O Georadar ou GPR (Ground Penetrating Radar) é uma ferramenta geofísica de análise sub-superficial com uma gama bastante alargada de utilizações (glaciologia, geologia estrutural, engenharia civil, sedimentologia) com um enfoque particular na Arqueologia (Gonçalves, 2015, Gonçalves e Pereira, 2013).

A técnica do Georadar, baseia-se na propagação pelo solo ou por outro meio dieléctrico (betão, água, gelo, etc) de radiação eletromagnética comumente designada por ondas eletromagnéticas ou ondas de Rádio. Esta radiação é refletida de volta à superfície sempre que ocorram mudanças nas características dieléctricas do meio que atravessam. (Gonçalves, 2015 e Gonçalves, Pereira, 2013).

Esta prospeção geofísica foi realizada com recurso ao equipamento de Georadar da GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc.) modelo SIR-3000 com antena de 200 MHz (modelo 5106A) e roda com odómetro (Survey Wheel).

Utilizou-se neste trabalho o método de prospeção com perfis individuais, os quais foram adquiridos sobre a secção de resistividade eléctrica realizada no local. Devido à presença de diversos obstáculos no terreno, nomeadamente a existência de socacos e valas de irrigação, a prospeção com Georadar cobriu apenas metade da secção de resistividade eléctrica.

Foram adquiridos dois perfis, cada um com aproximadamente 70 m de extensão, quase contínuos., uma vez que devido à presença de obstáculos (esteios de vinha e um

socalco) o início do segundo perfil foi desviado cerca de cinco metros para sul face ao fim do primeiro perfil (Figura III, ANEXO 1).

Para a prospeção foram utilizados os seguintes parâmetros de aquisição: Amostragem (samples) – 512; Alcance (range) 250 ns; Rate – 32; Espaçamento de aquisição longitudinal – 2cm (50 traços/m). O processamento dos dados foi efetuado com o software ReflexW utilizando-se o seguinte fluxo de trabalho: correção do tempo zero; remoção do *DC-shift*; *Dewow*; adição de Ganhos; *background removal* e filtro de frequência.

A velocidade de penetração do sinal de Radar foi estimada com recuso ao método de ajuste de hipérboles, tendo-se estimado uma velocidade média de 0,12 cm/ns para o terreno prospectado. Esta estimativa permitiu aferir as profundidades reais alcançadas pela prospeção.

Uma vez que este método apresenta limitações face à antena utilizada, nomeadamente a nível da profundidade de penetração das ondas eletromagnéticas que não ultrapassa os 20 m (a profundidade de penetração também foi configurada e limitada no Georadar), e da ocorrência de perdas na reflexão das ondas em função do aumento da profundidade, as considerações interpretativas dos resultados obtidos recaem apenas sobre os primeiros metros. Na Figura V, ANEXO 1, apresentam-se as 2 pseudo-seções realizadas, existindo entre os 0 m e os 0.5 m, ao longo dos dois perfis, e como esperado, a onda aérea. O nível entre os 0.5 m – 1.5 m é interpretado como a camada alterada de solo alterada pelas práticas agrícolas e por aterros. No seguimento da interpretação dos perfis, e tal como está ilustrado na mesma figura, podem ainda ser vistas zonas interpretadas como camadas de alteração, já que abaixo destas a refletância é baixa, projetando-se a existência de zonas menos resistivas, podendo corresponder a zonas de interface entre o substrato ou blocos são com zonas mais alteradas ou porosas, e, por ventura, zonas nas quais possa existir água. Destaca-se ainda na PS B a interpretação de algumas figuras como fraturas, estando estes elementos próximos da falha fotointerpretada (Figura 3, ANEXO 1).

6.3.3 Integração dos dados geofísicos e considerações finais sobre os resultados obtidos

A Figura 21 compila os perfis de resistividade elétrica e de Georadar, na qual é perceptível a correlação dos dados dos dois métodos aplicados, já que a alteração do sinal do georadar é compatível com as zonas menos resistivas obtidas a partir da resistividade elétrica

Do ponto de vista da prospecção de águas subterrâneas, o sector mais ocidental, delimitado entre a origem da PS e cerca de 100 m do seu início, possui características mais produtivas, com resistividades de poucos Ohm.m a poucas centenas de Ohm.m, compatíveis com a presença de água em meios graníticos (Telford *et al.*, 1990), que aparentemente se prolongarão em profundidade. Estas características permitiriam a execução de furos de captação mais profundos e provavelmente mais produtivos. Apesar disso, os sectores delimitados entre cerca de 100 m e 120 m, e entre cerca de 160 m e 185 m da origem da PS, para profundidades entre cerca de 20 m e 45 m, poderão constituir-se como alternativas a considerar.

Para a realização de trabalhos futuros, sugere-se algumas alterações às metodologias adotadas e aos equipamentos. Particularizando o Georadar, sugere-se que seja usada uma antena de mais baixa frequência para que seja possível aceder a maiores profundidades. Em termos metodológicos, é de interesse que sejam realizadas mais perfis, quer perpendiculares, quer paralelos às estruturas geológicas, tendo em vista a possibilidade de um melhor entendimento das estruturas em si e do próprio meio.

A realização destes trabalhos deveria ser feita em diferentes períodos do ano, contemplando os diferentes estados de saturação do meio subterrâneo para assim conseguir estudar o comportamento da água e avaliar a sua variância conforme as alterações climáticas e meteorológicas.

Por fim, apela-se à importância da possibilidade da concretização de prospeções diretas, por meio de sondages e *logs*, com o propósito de assim permitir que os informações recolhidas pelos métodos geofísicos (prospecção indireta) possam ser melhor correlacionáveis e traduzir conclusões mais exatas.

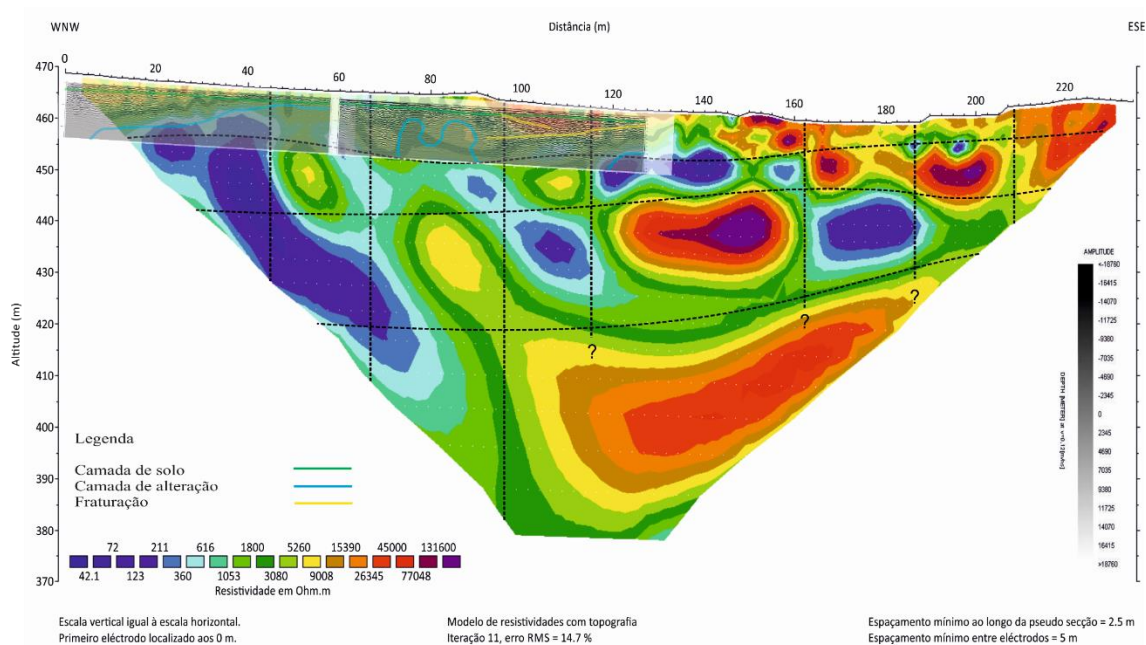


Figura 21- Compilação dos perfis de Georadar e de resistividade elétrica.

6.4 Modelo geológico simplificado (para prospeção hidrogeológica)

O modelo geológico simplificado esquematizado na Figura 22 pretende indicar locais potenciais para a prospeção hidrogeológica. Na figura estão indicados dois setores (Setor A e Setor B) definindo polígonos que resultam da interseção das principais falhas existentes na região.

No Setor B, o interior do polígono indica a presença de pontos de água e também contempla o espaço onde foi realizado o ensaio geofísico uma vez que indicou zonas de resistividades elétricas de baixo valor (Figura 4, ANEXO 1); por seu lado, no Setor A existem vários pontos de água, levando a crer que esses mesmos pontos estão circunscritos a áreas limitadas por fraturas. É expectável, ainda, que existam sistemas de fraturas e de diaclases que permitam que a água circule em profundidade.

Conjuntamente a um complexo sistema aquífero (confinado a semi-confinado) de circulação de água mais profunda delimitado pela fracturação, poderá projetar-se um sistema aquífero livre superior com origem no material alterado e arenizado do granito, desempenhando também um papel de aparelho de infiltração.

Propõe-se que as zonas com maior potencial hidrogeológico para a região em estudo sejam os dois setores apresentados (setor A e Setor B), e que para a realização de

furos ou captações estas sejam realizadas em zonas próximas dos lineamentos, já que se espera que sejam os locais mais favoráveis à circulação de água em profundidade.

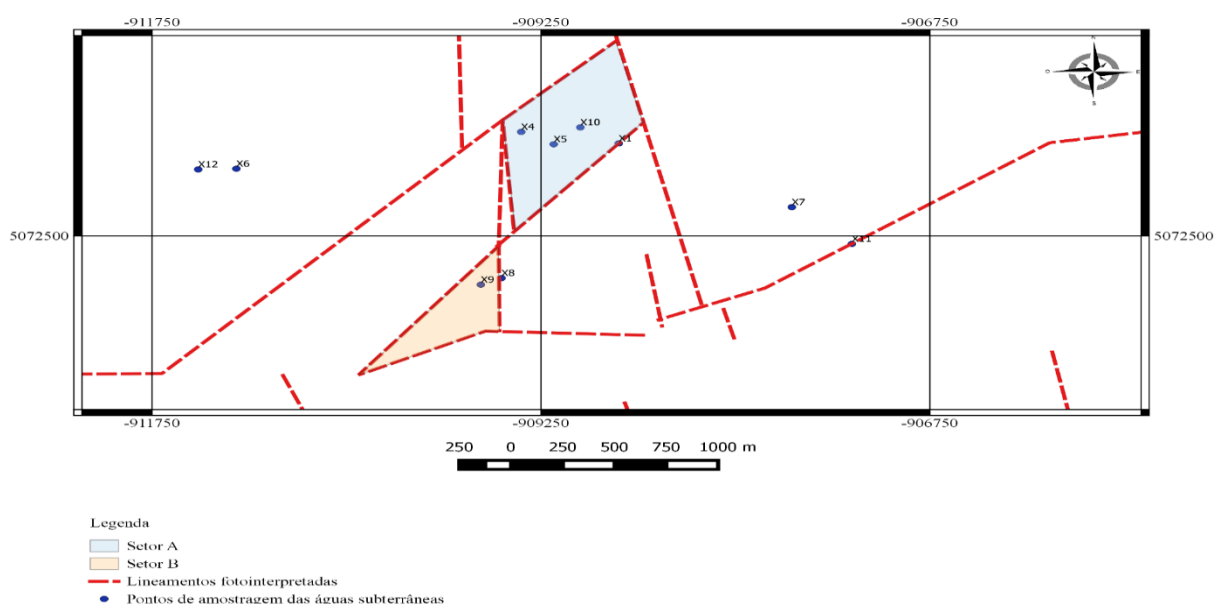


Figura 22- Modelo geológico conceitual com base na fotointerpretação de lineamentos. Coordenadas WGS84 / UTM zone 29N.

7. Avaliação química das águas superficiais

Neste capítulo pretende-se aferir o estado e qualidade das linhas de água do concelho de Fafe, e com esse intuito foi realizado um acompanhamento periódico dos parâmetros de pH, condutividade elétrica e temperatura *in situ*, cujos resultados podem ser vistos na Tabela XI, Anexo 2, tendo esse estudo culminado com a realização de uma campanha de amostragem e análise a 10 dos 18 pontos dispostos ao longo das linhas de água que percorrem o concelho de Fafe, contemplando as zonas mais urbanizadas e mais periféricas da cidade, bem como limites administrativos de concelhos vizinhos (Figura VI, ANEXO 1). De toda a área estudada, dá-se particular destaque às linhas de água compreendidas entre os pontos YH e YJ, já que é sabido que nesse espaço existem indústrias que podem estar a contaminar as linhas de água com efluentes industriais têxteis. Há relatos de habitantes, que residem próximo desses locais, a descrever que, por vezes, e com especial incidência em períodos de elevada pluviosidade, supostamente aproveitados pelas indústrias para descargas ilegais, a água apresenta uma cor e um cheiro

distintos, tendo ocorrido também a morte de peixes que depois surgem nas margens dos leitos das linhas de água.

As análises químicas realizadas às amostras de água recolhidas visaram determinar a composição aniónica das águas, já que não foi possível a realização de outras análises que pudessem quantificar os elementos catiónicos e os metais (Tabela XII, ANEXO 2). São várias as implicações negativas resultantes da impossibilidade de considerar outros elementos nas análises, já que um dos objetivos deste estudo passava por averiguar os impactos da poluição industrial e urbana sobre as linhas de água, sendo de interesse para um estudo mais completo e detalhado considerar, entre outros, elementos metálicos. A averiguação da composição da água em matéria orgânica seria um outro aspeto que poderia melhor clarificar sobre o estado das linhas de água, uma vez que a poluição por meio de matéria orgânica pode ser geradora de fenómenos de eutrofização não naturais, causando impactos nefastos no equilíbrio dos ecossistemas fluviais, e em última instância deteriorar a qualidade da água para o consumo e atividades humanas.

A fim de preservar o rigor e a integridade das considerações a serem feitas, estas terão um caráter descritivo, já que a escassez de informação não permite que se estabeleçam correlações fidedignas e que correspondam àquilo que é a realidade.

Da análise da Figura 23 retem-se que os aniões mais significativos, por ordem crescente, considerando todas as amostras são o nitrito, o nitrato, o sulfato, o cloreto e o bicarbonato, salvaguardando-se a especificidade de cada amostra.

Relacionando estes dados da Figura 23 com os da Tabela XI, ANEXO 2, afere-se que as amostras YI, Yj e YK são aquelas que apresentam uma maior concentração de cloretos e as que apresentam uma maior condutividade elétrica, a par da amostra YH para este parâmetro. Uma vez tratando-se os pontos YH, Yi e YJ como aqueles contidos na zona já referenciada como potencialmente poluída pelas indústrias, destacam-se ainda os pontos YK, que se localiza a montante da zona identificada, e o ponto YL a montante da zona urbana, como pontos em que há uma maior presença de cloretos.

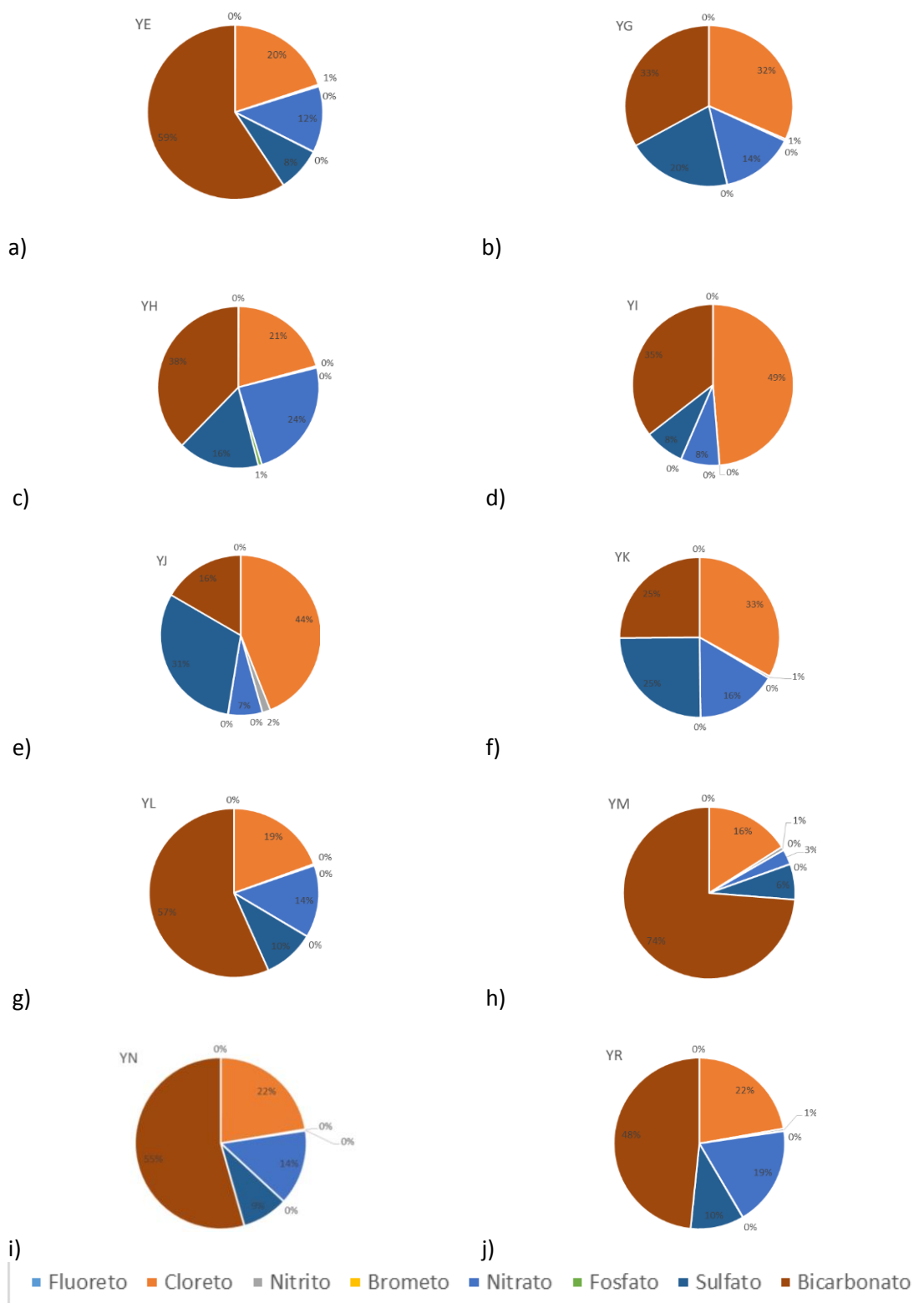


Figura 23- Diagrama circular das concentrações aniônicas em mg/L das 10 amostras submetidas a análise.

A correlação entre o aumento da concentração de cloretos e da condutividade elétrica é ilustrada na Figura 24 pondo em evidência que a correlação é baixa. Desta feita, espera-se que seja outro ou um conjunto de elementos responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica

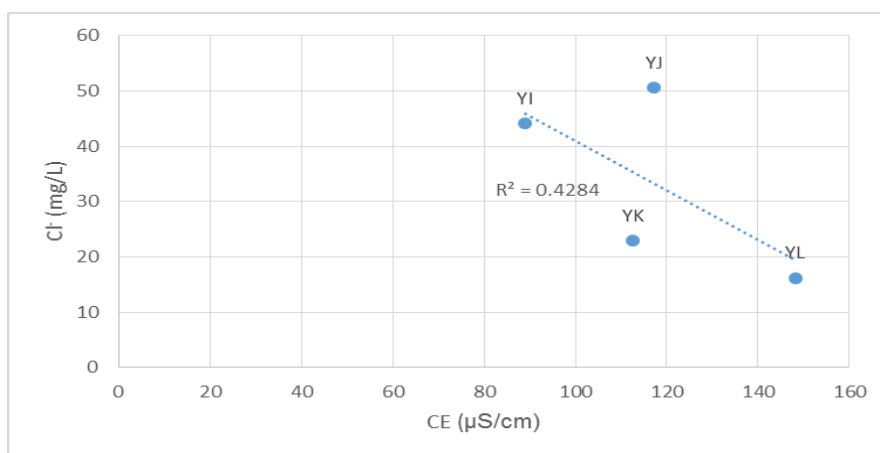


Figura 24– Diagrama de dispersão da relação CE/Cl⁻.

8. Avaliação da qualidade da água para diversos fins: comparação das características químicas da água com os valores apresentados na legislação portuguesa

Com o intuito de aferir a qualidade das águas analisadas para o consumo humano, os valores dos parâmetros obtidos foram comparados com os valores do Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, em função dos valores paramétricos apresentados na Figura VII ANEXO 1 (a que se refere o n.º 1 do artigo 6.º), quer para as águas subterrâneas (Tabela XIII.I, ANEXO 2), quer para as águas superficiais (Tabela XIII.II, ANEXO 2).

No tocante à qualidade da água para uso na rega, as mesmas amostras foram comparadas aos valores previstos no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (Figura VIII, ANEXO 1), tendo sido usado como referência o ANEXO XVI (Tabela XIV.I e Tabela XIV.II, ANEXO 2).

Acrescenta-se que as comparações demonstram que o valor dos nitritos da amostra YJ (água superficial) tem um valor superior ao valor paramétrico previsto na lei, e que os valores de pH das águas subterrâneas, à exceção da amostra X6, se encontram abaixo dos valores de pH previstos no mesmo Decreto-Lei.

Já no aproveitamento das águas para uso na rega, destaque para as amostras X2 e X11 (águas subterrâneas) apresentarem valores de nitrato superiores ao valor máximo recomendável (VMR), e para a amostra YJ por ter valores de pH inferiores ao VMR mas dentro do valor máximo admitido (VMA).

A análise comparativa dos valores das análises com os valores descritos nos Decretos-Lei evidencia que são duas espécies de azoto, o nitrato e o nitrito, que não cumprem os requisitos legais exigidos. O azoto no estado reduzido ou no estado orgânico é convertido através de bactérias no solo em nitrito e nitrato, num processo chamado de “nitrificação”. Estas espécies podem ser transportadas na água, enaltecendo-se a possibilidade de facilmente se deslocarem do local de origem da contaminação e de serem estáveis para uma vasta gama de condições. Estas características fazem com que possa ser difícil prever a origem *in loco* da contaminação. Não obstante, estes compostos são bons indicadores de contaminação por meio de resíduos orgânicos, ou do uso de fertilizantes com compostos azotados. Um dos perigos inerentes à presença de elevados teores de matéria orgânica nas águas é que a matéria orgânica é largamente utilizada por algumas bactérias como fonte energética para a execução das suas necessidades metabólicas (Hem, 1985). Havendo uma grande disponibilidade de substrato disponível para estes organismos, existem condições para que haja um rápido crescimento destas espécies, o que consequentemente fará com que os teores de oxigénio da água baixem, isto porque o oxigénio é usado pelas bactérias aeróbias. Uma diminuição da quantidade de oxigénio disponível na água trará consequências ao nível da qualidade para o consumo pelo Homem e para a fauna e flora que dependem das linhas de água.

Apura-se então, do ponto de vista do quimismo da água e do que foi possível aferir através das análises realizadas, que, e salvo as exceções pontuais já apresentadas, as águas subterrâneas e superficiais estão aptas para o consumo e uso humano, bem como para a rega, frisando-se mais uma vez que as considerações feitas não contemplam, entre outros, o estado bacteriológico e microbiano das águas, bem como a sua composição em outros elementos ou o seu enriquecimento em matéria orgânica.

9. Considerações finais

As águas subterrâneas estudadas qualificam-se quimicamente como aptas para o consumo humano, segundo os valores previstos na legislação portuguesa para os parâmetros em análise. Em relação à natureza das águas, estima-se que sejam águas pouco profundas (subsuperficiais), podendo, também dar-se o caso de serem águas que circulem em meio mais profundo, mas com reduzido tempo de permanência, uma vez que a sua composição é indicadora de águas pouco mineralizadas, com uma gama de pH próximo daquele que a água da chuva possui, e com concentrações baixas na maioria dos elementos que a compoem. Os casos em que a mineralização da água é mais elevada deve-se à presença de espécies de azoto, principalmente o nitrato, o que demonstra que as águas estão a sofrer contaminação, podendo esta indicação de contaminação química indiciar a possibilidade da sua contaminação a nível biológico.

O modelo geológico simplificado destaca para a ocorrência de setores com maior potencial hidrológico, a ligação destes a sistemas de fraturas que facilitam a circulação e emergência de água, tal como é expectável que ocorra em meios graníticos. A correlação entre estes fatores não será, por ventura, exclusivo do presente estudo, isto é, a associação de zonas fraturadas e a ocorrência e circulação de água, poderá ser extrapolada para a maioria da região. Deste modo, recomenda-se que no caso de se pretender realizar uma captação ou furo se deva, primeiramente, fazer uma análise estrutural e procurar zonas de fraturas e de interseção de fraturas, uma vez que esses serão os locais mais propícios para a ocorrência de água

As águas superficiais, tal como as subterrâneas, do ponto de vista químico estão aptas para o consumo humano e uso na rega. A factualidade desses dados não demonstra, contudo, a ideia de que as águas não estão sujeitas a poluição ou contaminação, isto porque as análises conduzidas apenas puderam contabilizar as concentrações aniónicas das águas, ficando assim por conseguir determinar outros elementos que poderiam ser indicadores de fenómenos prejudiciais à qualidade da água. O equilíbrio sustentável da água é fundamental e deve ser alargado territorialmente, já que poderão haver situações de águas superficiais que possam estar contaminadas e poluídas, e essas mesmas águas infiltrarem-se através de fraturas ou de meios mais permeáveis, e assim deteriorar também a qualidade das águas subterrâneas.

No âmbito da GIRH, e em última análise, fica a ideia de que a região de Fafe terá um elevado potencial hidrológico, a nível de águas superficiais e subterrâneas, mas importa primeiramente avaliar e caracterizar a água devidamente, a fim de os recursos hídricos poderem ser usados pela população sem que haja riscos acrescidos para a saúde e bem-estar.

10. Bibliografia

- Albuquerque, C. A. R. (1978). *Rare earth elements in «younger» granites, northern Portugal*. Lithos, 11,3. 219-229 pp.
- Costa, D. F. (2001). *Estimação de poluentes em sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais*. Dissertação de Mestrado, escola de Engenharia - Universidade do Minho, Portugal.
- Custodio, E., Llamas, M. (1983).- *Hidrogeologia*. (2 volumes). Omega, 2350 pp.
- Dean, J. A. (1985). *Lange's Handbook of Chemistry*. 13th ed. McGraw-Hill. Book Co., American Water Works Association, Denver, Colorado, 15-33 pp.
- Decreto-Lei n.º 130/2012 de 22 de Junho. *Diário da Republica – 1.ª série*. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto. *Diário da Republica — I Série-A*. Ministério do ambiente, Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto. *Diário da República, 1.ª série*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa.
- Esteves, M. F. (2004). *Deslocação de efluentes de tinturarias por oxidação eletroquímica*. In *Conferência Nacional de Ambiente, 8. Lisboa: DCEA, p.1-8*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Têxtil.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. & Ribeiro, M.L. (1987). *Granitóides da zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico*. In: Bea, F., Carnicero, A., Gonzalo, J.C., López Plaza, M., Rodriguez Alonso, M.D. (eds), *Geologia de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico (Libro de homenaje a Garcia Figueirola)*, Editorial Rueda, Madrid, 37-51 pp.
- Fetter, C. (2001). *Applied hydrogeology*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Gonçalves, L. (2013). *Estudo geoarqueológico com Georadar. Aplicação aos contextos arqueológicos da Pré-História recente à Proto-História do NW de Portugal*. Tese de Doutoramento em Geociências, Especialidade em Geologia, Departamento de Ciências da Terra - Universidade do Minho, Portugal.
- Gonçalves, L., Pereira, P. (2015). *Detecção do nível freático e da intrusão salina com recurso a GPR enquanto contributo para a gestão de recursos hídricos no litoral do concelho de Esposende. Inovação e gestão colaborativa para a sustentabilidade das zonas costeiras*. 2 pp, Braga.
- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, Third Edition*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254.
- Keller, G., Frischknecht, F. (1966). *Electrical methods in geophysical prospecting*. Oxford: Pergamon Press, 517 pp.
- Keller, G., Frischknecht, F. (1966). Telford, W., Geldart, L., Sheriff, R. (1990). *Applied geophysics*. 2ed. Cambridge: Cambridge University Press, 770 pp.
- Larsson, I. C. (Coord), (1984). *Ground water in hard rocks*. Project 8.6 of the Internacional Hidrological Programme, Studies and Reports In Hidrology 33. Unesco
- Lencastre, A., Franco, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Lima, A. (2001). *Hidrogeologia de Terrenos Graníticos (Minho – Noroeste de Portugal)*. Tese de Doutoramento, Departamento de Ciências da Terra - Universidade do Minho, Portugal, 451 pp.

Loke, M.H. (2014). *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Geotomo Software, Malaysia.

Loke, M.H., Chambers, J.E., Rucker, D. F., Kuras, O., Wilkinson, P. B. (2013). *Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method*. Journal of Applied Geophysics , 95, 135-156 pp.

Olaniran N.S. (1995). *Environment and Health: An Introduction*, in Olaniran, N.S. et.al, (Ed) Environment and Health. Lagos. Micmillan Nig. Pub. Co for NCF, 34-151.

Oliveira, J. (2009). *Caracterização da pluma de contaminação numa antiga lixeira com o método de resistividade elétrica*. Dissertação de Mestrado, faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ongley, E. D. (1986). *Control of water pollution from agriculture*, FAQ irrigation and Drainage 55.

Oppenheimer. J., Eaton, A. D. (1986). *Quality Control in Mineral Analysis*. In Proc. Water Quality Technology Conference (Houston, Texas, December 8-11, 1985).

Owa, F. W. 2014). *Water pollution: sources, effects, control and management*. Department of Integrated Science, Federal College of Education, Okene, Kogi State, Nigeria.

Pereira, E. (Coord.), (1989). *Carta Geológica de Portugal, Folha 1, escala 1:200.000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Pinto, A. M. R. T. (2001). *Caracterização e Valorização do Património Geológico da Penha (Guimarães, Norte de Portugal)*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências da Terra – Universidade do Minho, Portugal.

Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Fafe. (2008). *Enquadramento do plano no âmbito do sistema de gestão territorial e no sistema nacional nacional de defesa da floresta contra incêndios*, Capítulo 1.

Robain, H., Albouy, Y., Dabas, M., Descloitres, M., Camerlynck, C., Mechler, p., Tabbagh, A. (1999). *The location of infinite electrodes in pole-pole electrical surveys: consequences for 2D imaging*. Journal of Applied Geophysics, 41: 313-333 pp.

Silva, S. C. (2001). *Tratamento químico e biológico de efluentes da indústria têxtil como forma de redução do impacto ambiental aos recursos hídricos*. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Curso de Pós-Graduação Especialização em Auditoria e Perícia Ambiental.

Summerfield, M. A. (2008). *Global Geomorphology*. Taylor & Francis LTD – 560 pp.

Vieira, J. M. P (2003).. *Gestão da Água em Portugal. Os Desafios do Plano Nacional da Água*. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil.

ANEXOS

ANEXO 1- figuras

| | Páginas |
|--|---------|
| Figura I– Mapa administrativo do concelho de Fafe, adaptado a partir do <i>Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Fafe</i> (2008). | 63 |
| Figura II- Gráficos da variância dos caudais (LNQ) em função do tempo – a) Pontos X1, X4, X5 e X10. B) Pontos X8 e X9. c) Pontos X2 e X3. d) Ponto X6. e) Ponto X11. | 63 |
| Figura III- Localização das pseudo-secções de resistividade elétrica e Georadar realizadas no dia 17 de julho de 2015. | 65 |
| Figura IV- Pseudo-secção de resistividade elétrica. | 66 |
| Figura V- Pseudo-secções dos perfis de Georadar. | 65 |
| Figura VI- Localização dos pontos de controlo das águas superficiais. Coordenadas WGS 84 / UTM zone 29N. | 68 |
| Figura VII– Anexo I do Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto: a)- parâmetros químicos; b) – parâmetros indicadores. | 69 |
| Figura VIII- Qualidade das águas destinada à rega. Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto. | 70 |

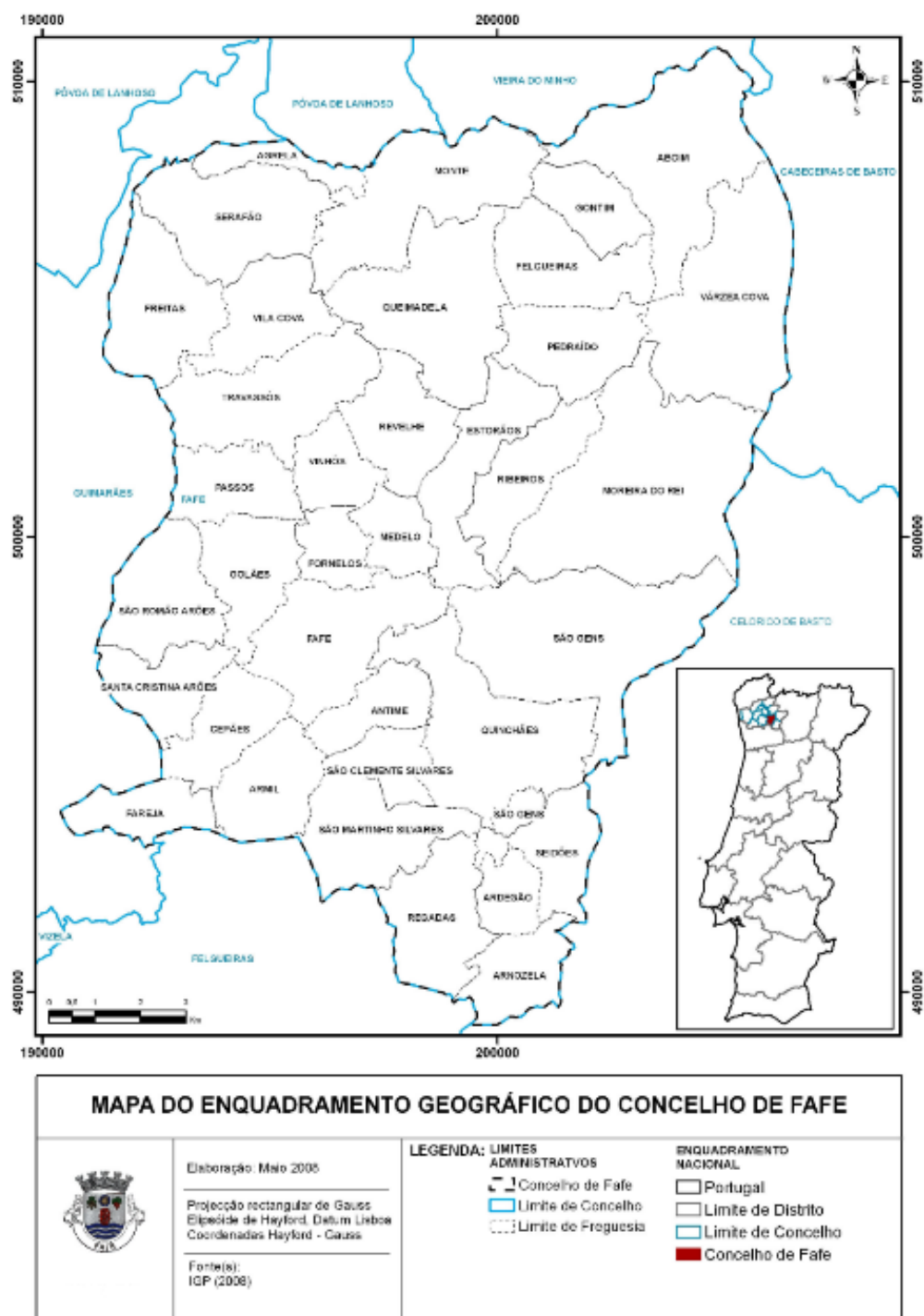
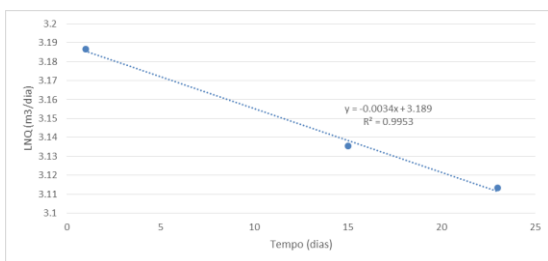
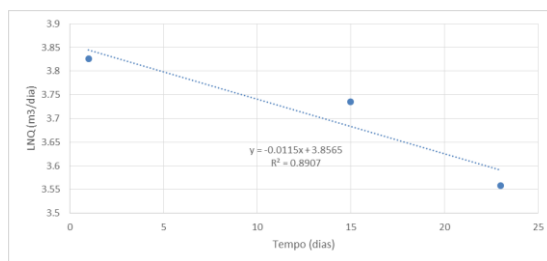


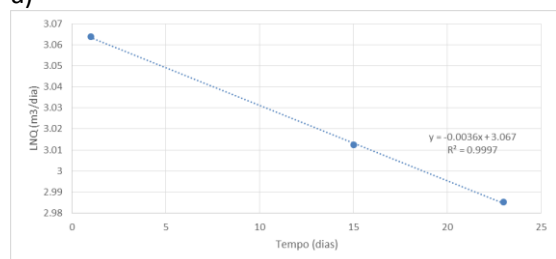
Figura I– Mapa administrativo do concelho de Fafe, adaptado a partir do Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Fafe.



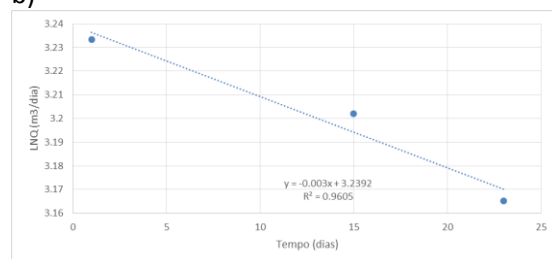
a)



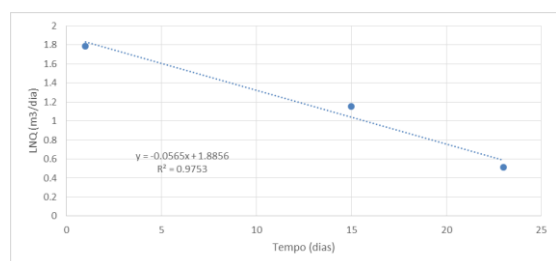
b)



c)



d)



e)

Figura II- Gráficos da variância dos caudais (LNQ) em função do tempo – a) Pontos X1, X4, X5 e X10. B) Pontos X8 e X9. c) Pontos X2 e X3. d) Ponto X6. e) Ponto X11.

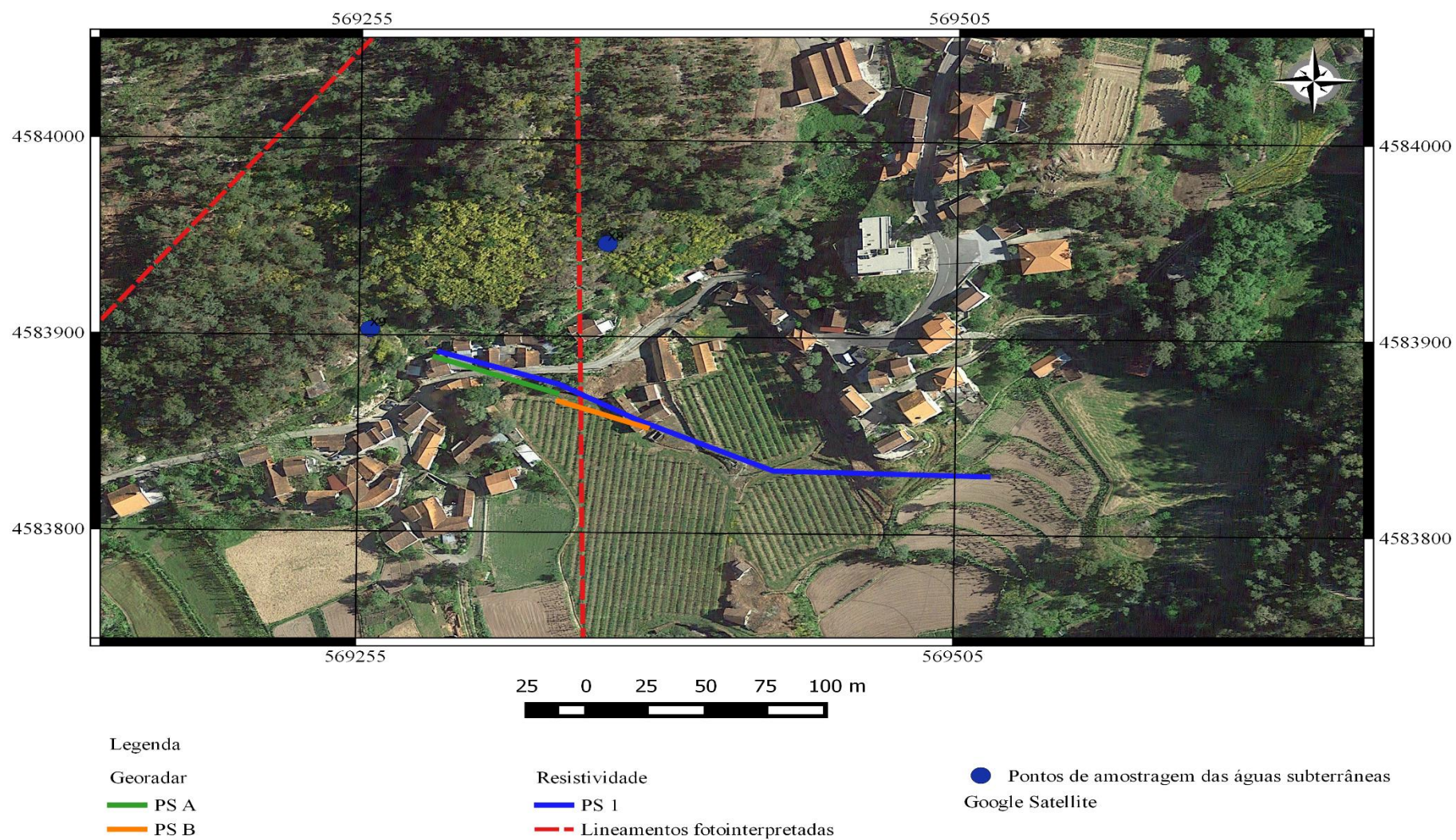


Figura III- Localização das pseudo-seções de resistividade elétrica e Georadar realizadas no dia 17 de julho de 2015.

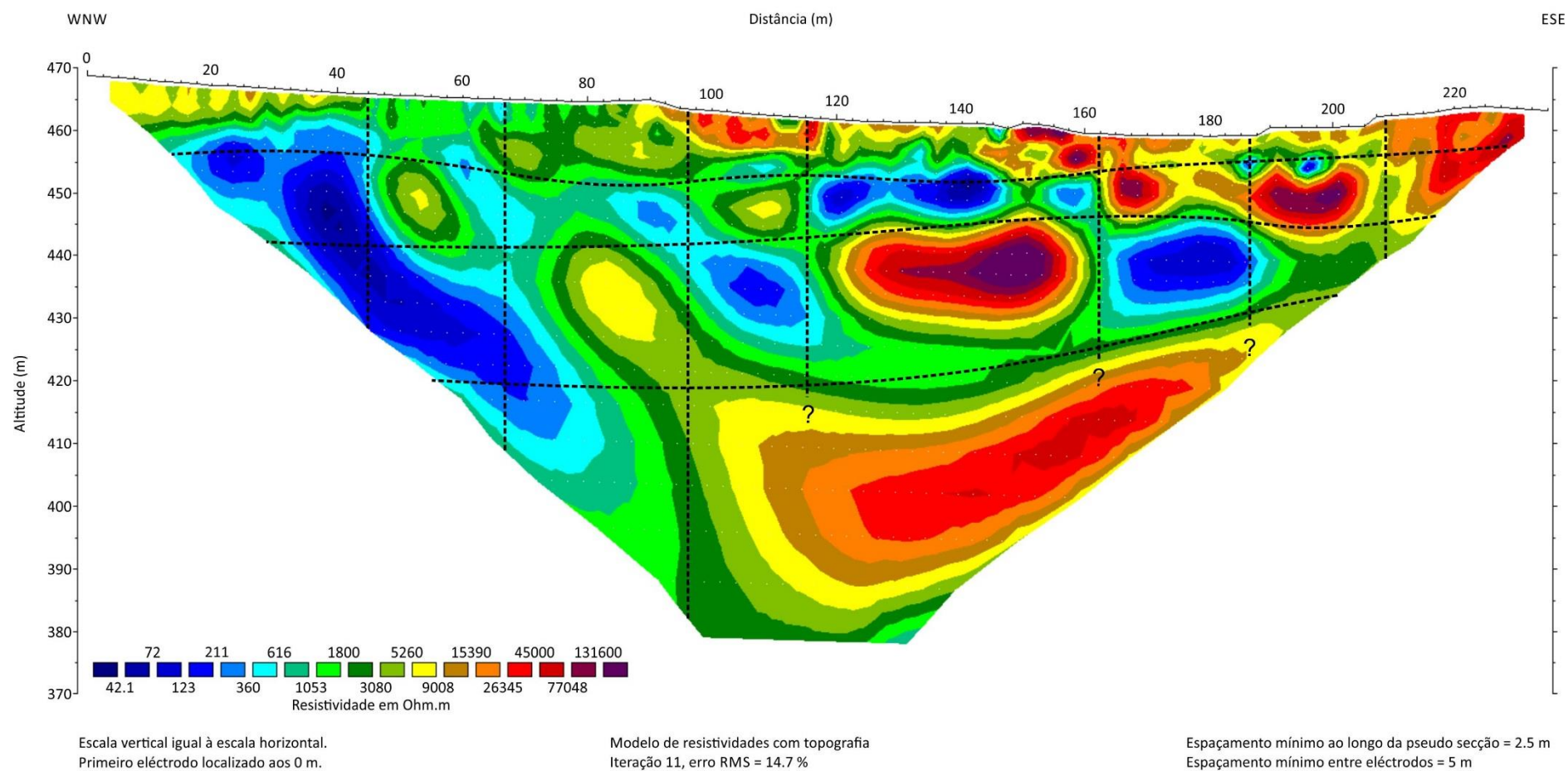


Figura IV- Pseudo-secção de resistividade elétrica.

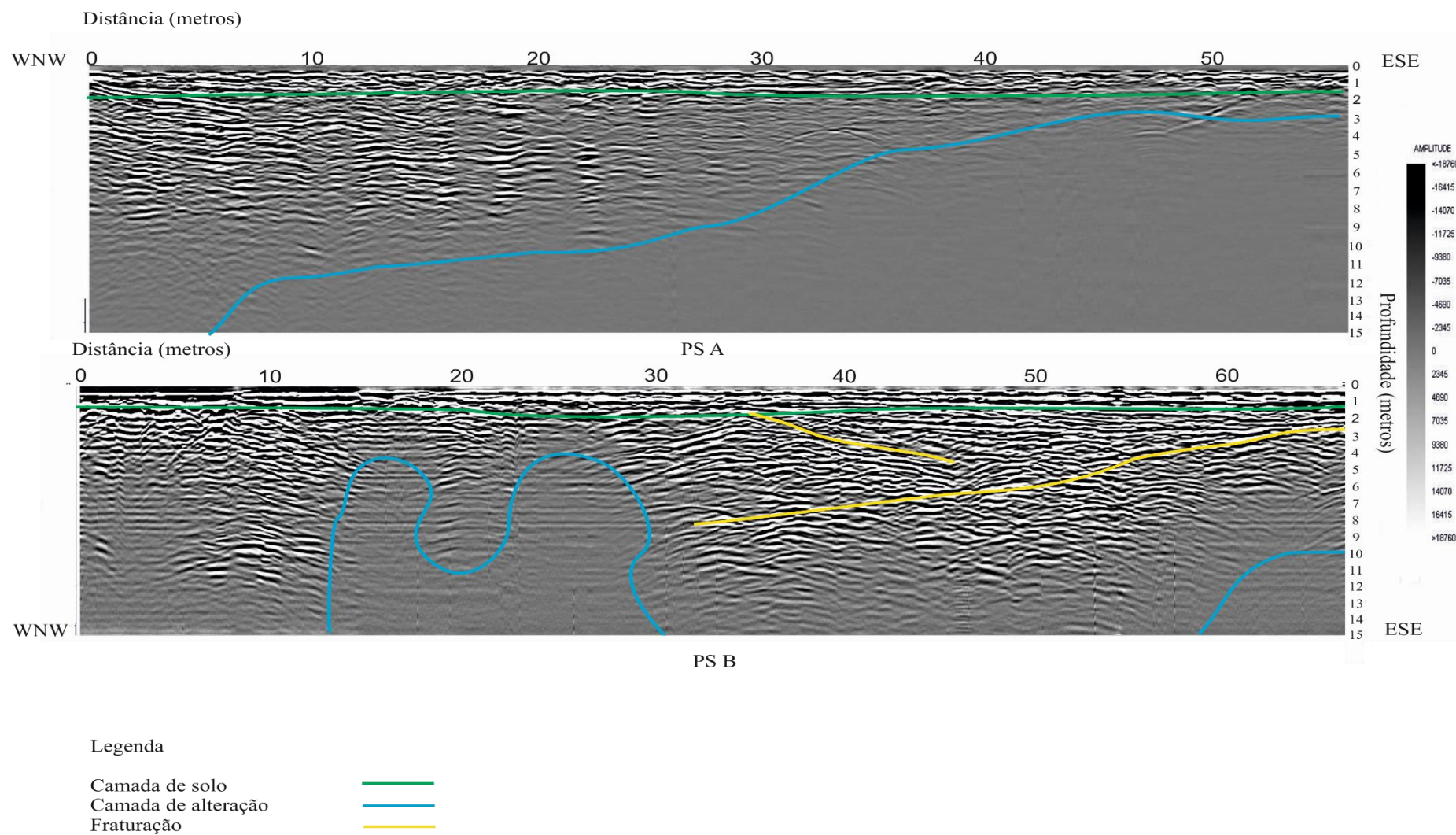


Figura V- Pseudo-seções dos perfis de Georadar.

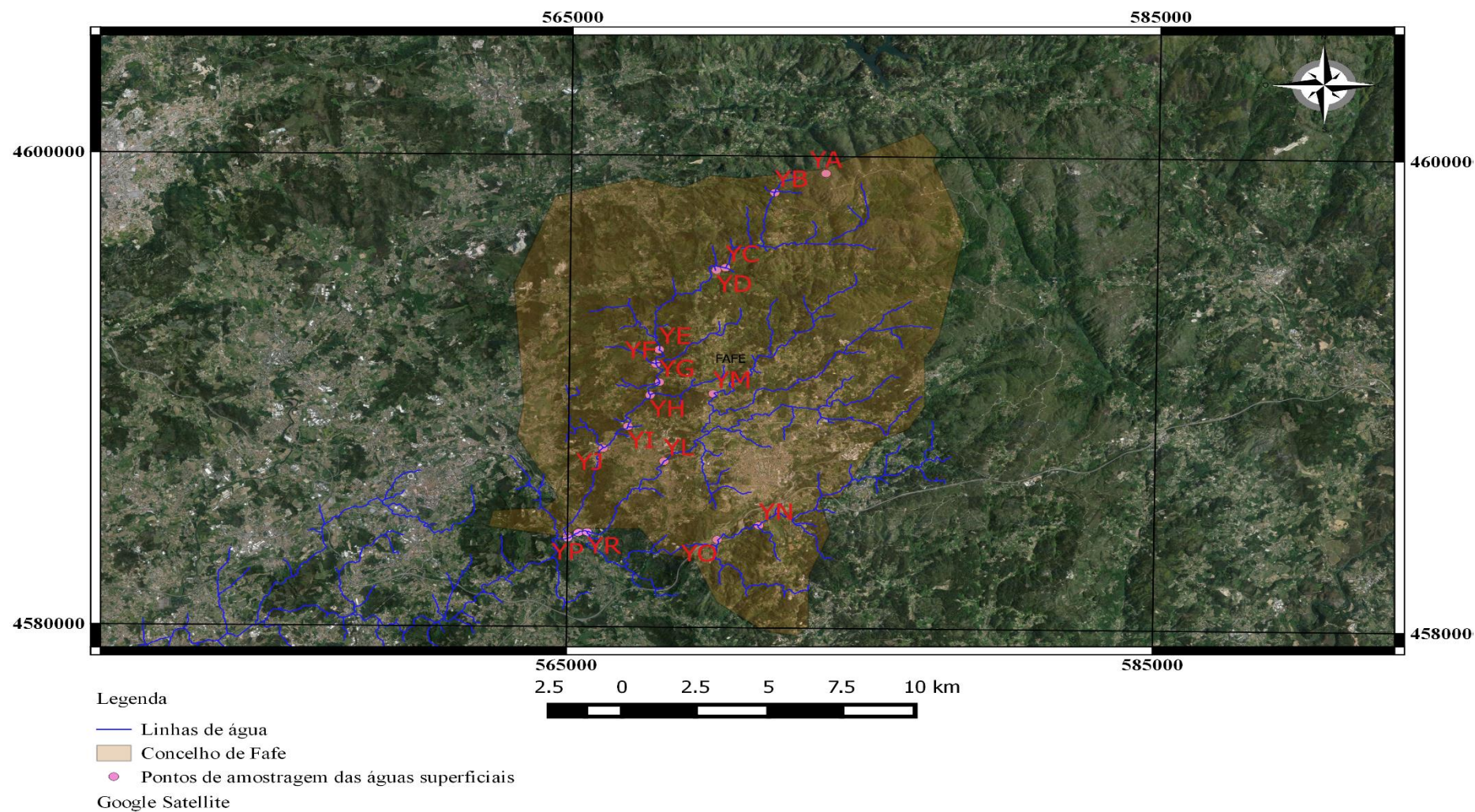


Figura VI- Localização dos pontos de controlo das águas superficiais. Coordenadas WGS 84 / UTM zone 29N.

Os valores paramétricos para a água destinada ao consumo humano fornecida por redes de distribuição, por fontanários não ligados à rede de distribuição, por pontos de entrega, por camiões ou navios -cisterna, por reservatórios não ligados à rede de distribuição ou utilizada numa empresa da indústria alimentar são os seguintes:

| Parâmetro | Valor paramétrico | Unidade | Observações |
|--|-----------------------|------------------------------|--------------------|
| Alumínio | 200 | µg/l <i>Al</i> | |
| Amónio | 0,50 | mg/l <i>NH₄</i> | |
| Cálcio | - | mg/l <i>Ca</i> | V. n. 1, 2 e 5. |
| Cloretos | 250 | mg/l <i>Cl</i> | V. n. 1. |
| <i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos) | 0 | N/100 ml | V. n. 6. |
| Cor | 20 | mg/l <i>PtCo</i> | |
| Condutividade | 2 500 | µS/cm a 20°C | V. n. 1. |
| Dureza total | - | mg/l <i>CaCO₃</i> | V. n. 1, 4 e 5. |
| <i>pH</i> | ≥ 6,5 e ≤ 9 | unidades de <i>pH</i> | V. n. 1 e 7. |
| Ferro | 200 | µg/l <i>Fe</i> | |
| Magnésio | - | mg/l <i>Mg</i> | V. n. 1, 3 e 5. |
| Manganês | 50 | µg/l <i>Mn</i> | |
| Microcistinas — LR total | 1 | µg/l | V. n. 16. |
| Cheiro, a 25°C | 3 | Factor de diluição | |
| Oxidabilidade | 5 | mg/l <i>O₂</i> | V. n. 8. |
| Sulfatos | 250 | mg/l <i>SO₄</i> | V. n. 1. |
| Sódio | 200 | mg/l <i>Na</i> | |
| Sabor, a 25°C | 3 | Factor de diluição | |
| Número de colónias | Sem alteração anormal | N/ml a 22°C | V. n. 17 e 18. |
| Sem alteração anormal | Sem alteração anormal | N/ml a 37°C | V. n. 17 e 18. |
| Bactérias coliformes | 0 | N/100 ml | V. n. 9. |
| Carbono orgânico total (COT) | Sem alteração anormal | mg/l <i>C</i> | V. n. 10 e 18. |
| Turvação | 4 | UNT | V. n. 11. |
| α-total | 0,5 | Bq/l | V. n. 12 e 14. |
| β-total | 1 | Bq/l | V. n. 12 e 14. |
| Trítio | 100 | Bq/l | V. n. 12 e 14. |
| Dose indicativa total | 0,10 | mSv/ano | V. n. 13, 14 e 15. |
| Desinfectante residual | - | mg/l | V. n. 19. |

a)

| Parâmetro | Valor paramétrico | Unidade | Observações |
|---|---|-----------------------------|---|
| Acrilamida | 0,10 | µg/l | V. n. 1. |
| Antimónio | 5,0 | µg/l <i>Sb</i> | |
| Arsénio | 10 | µg/l <i>As</i> | |
| Benzeno | 1,0 | µg/l | |
| Benzo(a)pireno | 0,010 | µg/l | |
| Boro | 1,0 | mg/l <i>B</i> | |
| Bromatos | 25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). | µg/l <i>BrO₃</i> | V. n. 2. |
| | 10 (após 25 de Dezembro de 2008). | | |
| Cádmio | 5,0 | µg/l <i>Cd</i> | |
| Crómio | 50 | µg/l <i>Cr</i> | V. n. 3. |
| Cobre | 2,0 | mg/l <i>Cu</i> | V. n. 3. |
| Cianetos | 50 | µg/l <i>Cn</i> | |
| 1,2 dicloroetano | 3,0 | µg/l | |
| Epicloridrina | 0,10 | µg/l | V. n. 1. |
| Fluoretos | 1,5 | mg/l <i>F</i> | |
| Chumbo | 25 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2013). | µg/l <i>Pb</i> | V. n. 3 e 4. |
| | 10 (após 25 de Dezembro de 2013). | | |
| Mercurio | 1 | µg/l <i>Hg</i> | |
| Níquel | 20 | µg/l <i>Ni</i> | V. n. 3. |
| Nitratos | 50 | mg/l <i>NO₃</i> | V. n. 5. |
| Nitritos | 0,5 | mg/l <i>NO₂</i> | V. n. 5. |
| Pesticida individual | 0,10 | µg/l | V. n. 6 e 7. |
| Pesticidas — total | 0,50 | µg/l | V. n. 6 e 8. |
| Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) | 0,10 | µg/l | Soma das concentrações dos compostos especificados. |
| | | | V. n. 9. |
| Selénio | 10 | µg/l <i>Se</i> | |
| Tetracloreto e tricloroetano | 10 | µg/l | Soma das concentrações dos compostos especificados. |
| | | | Soma das concentrações dos compostos especificados. |
| Trihalometanos — total (THM) | 150 (de 25 de Dezembro de 2003 até 25 de Dezembro de 2008). | µg/l | V. n. 10. |
| | 100 (após 25 de Dezembro de 2008). | | |
| Cloreto de vinilo | 0,50 | µg/l | V. n. 1. |

b)

Figura VII– Anexo I do Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto: a)- parâmetros químicos; b) – parâmetros indicadores.

| Parâmetro S | Expressão dos resultados | VMR | VMA | Observações |
|-----------------------------------|--------------------------|---------|---------|--|
| Manganês (Mn) | mg/l | 0,20 | 10 | Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos. |
| Molibdénio (Mo) | mg/l | 0,005 | 0,05 | Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem no entanto ocasionar toxicidade nos animais. |
| Níquel (Ni) | mg/l | 0,5 | 2,0 | Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para pH neutro ou alcalino. |
| Nitratos (NO ₃) | mg/l | 50 | | Concentrações elevadas podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega. |
| Salinidade: CE | dS/m | 1 | | Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo. |
| SDT | mg/l | 640 | | |
| SAR ⁽¹⁾ | | 8 | | Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada. |
| Selénio (Se) | mg/l | 0,02 | 0,05 | Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais. |
| Sólidos suspensos totais (SST). | mg/l | 60 | | Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos. |
| Sulfatos (SO ₄) | mg/l | 575 | | |
| Vanádio (V) | mg/l | 0,10 | 1,0 | Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas. |
| Zinco (Zn) | mg/l | 2,0 | 10,0 | Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a pH > 6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos. |
| pH | Escala de Sorensen | 6,5-8,4 | 4,5-9,0 | |
| Coliformes fecais | /100 ml | 100 | | |
| Ovos de parasitas intestinais | N/l | | 1 | |

⁽¹⁾ A relação de absorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l: $SAR = Na/[(Ca + Mg)/2]^{1/2}$.

Figura VIII- Qualidade das águas destinada à rega. Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto.

ANEXO 2- tabelas

| | Páginas |
|--|---------|
| Tabela I- Descrição das estações meteorológicas, coordenadas WGS84 / UTM zone 29N, com referência às estações utilizadas diretamente neste estudo na coluna Obs. | 73 |
| Tabela II- Determinação da evapotranspiração potencial foram determinados segundo a fórmula de Thornthwaite. | 74 |
| Tabela III- Volume precipitação (mm) medidos num pluviómetro instalado num local central da área de Silvaes S. Martinho com as coordenadas 41.412932;-8.166998 (WGS 84). | 75 |
| Tabela IV– Dados de verificação da precisão analítica (Σ catiões e aniões expressos em meq/L; CEC– condutividade elétrica calculada em $\mu\text{S}/\text{cm}$; CEm – valores médios da condutividade elétrica medida nas 6 campanhas de campo em $\mu\text{S}/\text{cm}$; TSDc – total de sólidos dissolvidos calculados em mg/L). | 76 |
| Tabela V- Parâmetros de campo (pH - $-\log$ da concentração efetiva de H^+ ; CE – condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$; Temp – temperatura em $^{\circ}\text{C}$). | 77 |
| Tabela VI- Valores de alcalinidade (mg/LCaCO_3) e dureza (mg/LCaCO_3) | 77 |
| Tabela VII– Análise completa da composição química das águas subterrâneas em estudo (a verde estão os elementos determinados nas análises do <i>Activation Lab</i> e a azul os elementos determinados no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho; (valores de bicarbonato calculados a partir dos valores de alcalinidade). | 78 |
| Tabela VIII- Especificação química das espécies minerais. | 80 |
| Tabela IX- Índice de saturação das espécies minerais. | 85 |
| Tabela X- Matriz de correlação dos elementos, obtida através do software AquaChem. | 87 |
| Tabela XI- Dados estatísticos referentes aos parâmetros de campo medidos in situ. (pH - $-\log$ da concentração efetiva de H^+ ; CE – condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$; Temp – temperatura em $^{\circ}\text{C}$; M – média; Med – mediana; Máx – valor máximo; Min – valor mínimo). * - pontos de medição única; ** - pontos não acessíveis. Os pontos sombreados a azul foram os sujeitos a análise. | 88 |
| Tabela XII– Análise dos aniões das águas superficiais, determinados no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho; (valores de bicarbonato calculados a partir dos valores de alcalinidade). | 89 |
| Tabela XIII.I- Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, em função dos valores e parâmetros paramétricos do ANEXO 1 para as águas subterrâneas (*valores correspondentes à média dos parâmetros). | 90 |
| Tabela XIII.II - Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, em função dos valores e parâmetros paramétricos do ANEXO 1 para as águas superficiais (*valores correspondentes à média dos parâmetros). | 91 |
| Tabela XIV.I- Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, em função dos valores do ANEXO XVI para as águas subterrâneas (*valores correspondentes à média dos parâmetros; VMR – valor máximo recomendado, VMA – valor máximo admissível). | 92 |
| Tabela XIV.II- Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, em função dos valores do ANEXO XVI para as águas superficiais (*valores correspondentes à média dos parâmetro; ** valores apresentados correspondem aos valores de fluoretoss; VMR – valor máximo recomendado, VMA – valor máximo admissível). | 93 |

Tabela I- Descrição das estações meteorológicas, coordenadas WGS84 / UTM zone 29N, com referência às estações utilizadas diretamente neste estudo na coluna Obs.

| Código | Nome | Altitude (m) | Latitude (°N) | Longitude (°W) | Entrada em funcionamento | Estado | Obs. |
|----------|------------------------|--------------|---------------|----------------|--------------------------|-------------|------|
| 05H/03UG | ARADA | 196 | 41.381 | -8.224 | 10/1/1931 | ACTIVA | X |
| 04I/01CG | BARRAGEM DE GUILHOFREI | 374 | 41.573 | -8.122 | 1/1/1939 | ACTIVA | X |
| 04I/02UG | BRANCELHE | 379 | 41.635 | -8.134 | 12/1/1931 | ACTIVA | |
| 05G/03UG | CASTELÕES | 147 | 41.41 | -8.428 | 10/1/1979 | DESACTIVADA | X |
| 06F/03UG | ERMESINDE | 73 | 41.221 | -8.559 | 10/1/1979 | ACTIVA | |
| 05G/05UG | ESCUDEIROS | 190 | 41.482 | -8.426 | 5/1/1980 | ACTIVA | |
| 05H/01UC | FAFE | 259 | 41.446 | -8.215 | 12/1/1931 | SUSPENSA | X |
| 04H/02UG | FONTELA | 335 | 41.508 | -8.244 | 6/1/1980 | ACTIVA | X |
| 04I/05UG | GONTIM | 695 | 41.527 | -8.105 | 6/1/1980 | ACTIVA | X |
| 06E/02UG | LEÇA DA PALMEIRA | 17 | 41.198 | -8.69 | 10/1/1979 | ACTIVA | |
| 05G/06UG | LORDELO | 110 | 41.374 | -8.362 | 10/1/1979 | ACTIVA | X |
| 05I/04G | MOREIRA DO REI | 505 | 41.482 | -8.116 | 6/1/1980 | ACTIVA | X |
| 05F/02UG | PARADA | 59 | 41.361 | -8.633 | 10/1/1979 | ACTIVA | |
| 04H/01UG | PÓVOA DO LANHOSO | 173 | 41.573 | -8.266 | 10/1/1979 | SUSPENSA | |
| 04G/02UG | SAMEIRO | 559 | 41.54 | -8.37 | 10/1/1932 | ACTIVA | |
| 05G/02C | SANTO TIRSO | 54 | 41.349 | -8.468 | 10/1/1924 | EXTINTA | X |
| 05G/04UG | TAIPAS | 115 | 41.487 | -8.342 | 10/1/1979 | ACTIVA | X |
| 05F/01UG | VIATODOS | 83 | 41.456 | -8.551 | 12/1/1931 | ACTIVA | |
| 06E/03UG | VILA CHÃ (MINDELO) | 37 | 41.296 | -8.716 | 10/1/1979 | ACTIVA | |
| 04I/04UG | VILAR DO CHÃO | 592 | 41.616 | -8.089 | 10/1/1979 | ACTIVA | |
| 05G/05UG | VILAÇA | 140 | 41.512 | -8.483 | 5/1/1980 | ACTIVA | |

Tabela II- Determinação da evapotranspiração potencial foram determinados segundo a fórmula de Thornthwaite.

| | Precipitação | | Thornthwaite | | | | | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|---------|----------|----------|----------|----------|--------|
| | Soma Total | Média Mensal | Temperatura | Horas Insolação | n° dias | d | I | J | α | ETP |
| Janeiro | 16372.5 | 237.28 | 9 | 9.4 | 31 | 0.809444 | 2.434908 | 65.53783 | 1.525679 | 21.27 |
| Fevereiro | 13517.1 | 195.90 | 9.9 | 10.6 | 28 | 0.824444 | 2.812879 | | | 25.06 |
| Março | 13002 | 188.43 | 12.3 | 11.9 | 31 | 1.024722 | 3.907291 | | | 43.38 |
| Abril | 9619.1 | 139.41 | 13.2 | 13.4 | 30 | 1.116667 | 4.348188 | | | 52.65 |
| Mai | 8469.3 | 122.74 | 15.8 | 14.6 | 31 | 1.257222 | 5.708556 | | | 77.98 |
| Junho | 4751.8 | 68.87 | 19.5 | 15.2 | 30 | 1.266667 | 7.850039 | | | 108.31 |
| Julho | 1782.7 | 25.84 | 21.4 | 14.9 | 31 | 1.283056 | 9.036617 | | | 126.43 |
| Agosto | 2193.1 | 31.78 | 21.4 | 13.9 | 31 | 1.196944 | 9.036617 | | | 117.94 |
| Setembro | 5834.8 | 84.56 | 19.4 | 12.6 | 30 | 1.05 | 7.789171 | | | 89.08 |
| Outubro | 10760.9 | 155.96 | 15.9 | 11.1 | 31 | 0.955833 | 5.763346 | | | 59.86 |
| Novembro | 13592.4 | 196.99 | 12.3 | 9.8 | 30 | 0.816667 | 3.907291 | | | 34.57 |
| Dezembro | 16808.5 | 243.60 | 10.2 | 9.1 | 31 | 0.783611 | 2.942931 | | | 24.93 |

Para a determinação do valor de li , considerou-se uma latitude de 41°, em que a correspondência com as horas de insolação foi feito no *site* www.solartopo.com. Os valores de T_i usados foram obtidos no site do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), sendo referentes aos valores de temperatura média mensal dos anos de 1981/2010.

Tabela III- Volume precipitação (mm) medidos num pluviômetro instalado num local central da área de Silvaes S. Martinho com as coordenadas 41.412932;-8.166998 (WGS 84)

| Data | mm | Data | mm | Data | mm | Data | mm | Data | mm | Data | mm | Data | mm |
|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|-----|-----------|------|-----------|------|-----------|----|
| 2/15/2015 | 6.9 | 3/2/2015 | 19.4 | 3/17/2015 | 4.9 | 4/1/2015 | 0 | 4/16/2015 | 22.6 | 5/1/2015 | 33.2 | 5/16/2015 | 0 |
| 2/16/2015 | 1.9 | 3/3/2015 | 5.8 | 3/18/2015 | 0 | 4/2/2015 | 0 | 4/17/2015 | 0 | 5/2/2015 | 15.1 | 5/17/2015 | 0 |
| 2/17/2015 | 0 | 3/4/2015 | 0 | 3/19/2015 | 1.2 | 4/3/2015 | 0 | 4/18/2015 | 0 | 5/3/2015 | 15.1 | 5/18/2015 | 0 |
| 2/18/2015 | 0 | 3/5/2015 | 0 | 3/20/2015 | 0 | 4/4/2015 | 0 | 4/19/2015 | 0 | 5/4/2015 | 34.6 | 5/19/2015 | 0 |
| 2/19/2015 | 0 | 3/6/2015 | 0 | 3/21/2015 | 0 | 4/5/2015 | 0 | 4/20/2015 | 0 | 5/5/2015 | 15 | 5/20/2015 | 0 |
| 2/20/2015 | 2.9 | 3/7/2015 | 0 | 3/22/2015 | 0 | 4/6/2015 | 0 | 4/21/2015 | 0 | 5/6/2015 | 0 | 5/21/2015 | 0 |
| 2/21/2015 | 6.8 | 3/8/2015 | 0 | 3/23/2015 | 0 | 4/7/2015 | 0 | 4/22/2015 | 0 | 5/7/2015 | 2.4 | 5/22/2015 | 0 |
| 2/22/2015 | 3 | 3/9/2015 | 0 | 3/24/2015 | 0 | 4/8/2015 | 0 | 4/23/2015 | 0 | 5/8/2015 | 0 | 5/23/2015 | 0 |
| 2/23/2015 | 12.2 | 3/10/2015 | 0 | 3/25/2015 | 14.2 | 4/9/2015 | 2.3 | 4/24/2015 | 7.9 | 5/9/2015 | 0 | 5/24/2015 | 0 |
| 2/24/2015 | 3.2 | 3/11/2015 | 0 | 3/26/2015 | 12.6 | 4/10/2015 | 0 | 4/25/2015 | 25.2 | 5/10/2015 | 0 | 5/25/2015 | 0 |
| 2/25/2015 | 2.1 | 3/12/2015 | 0 | 3/27/2015 | 1.6 | 4/11/2015 | 0 | 4/26/2015 | 0.4 | 5/11/2015 | 0 | 5/26/2015 | 0 |
| 2/26/2015 | 1.2 | 3/13/2015 | 0 | 3/28/2015 | 2 | 4/12/2015 | 0 | 4/27/2015 | 2 | 5/12/2015 | 0 | 5/27/2015 | 0 |
| 2/27/2015 | 2.7 | 3/14/2015 | 0 | 3/29/2015 | 0 | 4/13/2015 | 0 | 4/28/2015 | 0 | 5/13/2015 | 0 | | |
| 2/28/2015 | 3.3 | 3/15/2015 | 0 | 3/30/2015 | 0 | 4/14/2015 | 0 | 4/29/2015 | 0 | 5/14/2015 | 0 | | |
| 3/1/2015 | 8.2 | 3/16/2015 | 0 | 3/31/2015 | 0 | 4/15/2015 | 9.4 | 4/30/2015 | 2.3 | 5/15/2015 | 0 | | |

Tabela IV– Dados de verificação da precisão analítica (Σ catiões e aniões expressos em meq/L; C_{Ec} – condutividade elétrica calculada em $\mu\text{S}/\text{cm}$; C_{Em} – valores médios da condutividade elétrica medida nas 6 campanhas de campo em $\mu\text{S}/\text{cm}$; TSD_c – total de sólidos dissolvidos calculados em mg/L).

| Amostras | Σ catiões | Σ aniões | EBC | C _{Ec} | C _{Em} | Σ aniões x 100 | TSD _c |
|------------|------------------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------------|------------------|
| X1 | 0.62 | 0.80 | -12.69 | 94.65 | 88.17 | 80.46 | 1.03 |
| X2 | 0.67 | 0.94 | -16.64 | 100.54 | 67.20 | 93.50 | 1.17 |
| X3 | 0.43 | 0.56 | -13.43 | 60.56 | 47.17 | 55.71 | 0.84 |
| X4 | 0.38 | 0.50 | -14.61 | 49.60 | 43.33 | 50.43 | 0.83 |
| X5 | 0.73 | 0.91 | -10.89 | 109.08 | 111.50 | 90.75 | 1.17 |
| X6 | 0.61 | 0.86 | -17.57 | 76.97 | 78.67 | 86.39 | 1.41 |
| X7 | 0.31 | 0.34 | -5.24 | 38.37 | 21.83 | 33.94 | 0.56 |
| X8 | 0.46 | 0.61 | -14.52 | 65.37 | 51.33 | 61.24 | 0.90 |
| X9 | 0.34 | 0.38 | -5.65 | 44.39 | 32.67 | 38.10 | 0.62 |
| X10 | 0.63 | 0.73 | -7.35 | 84.63 | 75.50 | 73.26 | 1.01 |
| X11 | 0.81 | 0.95 | -7.81 | 111.81 | 116.60 | 94.76 | 1.13 |
| X12 | 0.36 | 0.34 | 2.65 | 42.01 | 24.25 | 34.06 | 0.56 |

Tabela V- Parâmetros de campo (pH - -log da concentração efetiva de H⁺; CE – condutividade elétrica em µS/cm; Temp – temperatura em °C).

| Datas | 13/01/2015 | | | 26/01/2015 | | | 23/02/2015 | | | 23/03/2015 | | | 30/03/2015 | | | 27/05/2015 | | |
|----------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|
| Amostras | pH | CE | Temp | pH | CE | Temp | pH | CE | Temp | pH | CE | Temp | pH | CE | Temp | pH | CE | Temp |
| X1 | 5.63 | 89.00 | 11.75 | 5.63 | 89.00 | 11.75 | 5.63 | 89.00 | 11.75 | 5.63 | 89.00 | 11.75 | 5.70 | 87.00 | 12.20 | 5.62 | 86.00 | 14.00 |
| X2 | 5.46 | 97.00 | 15.00 | 5.47 | 101.00 | 13.85 | 5.99 | 46.00 | 13.50 | 5.99 | 46.00 | 13.50 | | | | 5.99 | 46.00 | 13.50 |
| X3 | 6.02 | 48.00 | 13.30 | 5.94 | 48.00 | 13.85 | 5.99 | 46.00 | 13.50 | 6.05 | 46.00 | 13.60 | 6.02 | 45.00 | 13.20 | 6.01 | 50.00 | 14.00 |
| X4 | 6.01 | 35.00 | 11.90 | 6.08 | 34.00 | 10.75 | 6.01 | 92.00 | 12.20 | 6.05 | 32.00 | 13.10 | 6.07 | 32.00 | 12.20 | 5.95 | 35.00 | 15.00 |
| X5 | 5.75 | 112.00 | 12.25 | 5.84 | 114.00 | 12.20 | 5.64 | 114.00 | 13.00 | 5.61 | 112.00 | 13.30 | 5.62 | 109.00 | 13.00 | 5.55 | 108.00 | 14.00 |
| X6 | 6.96 | 95.00 | 7.40 | 7.29 | 103.00 | 8.70 | 6.55 | 70.00 | 12.60 | 6.55 | 70.00 | 12.60 | 6.51 | 64.00 | 13.10 | 6.46 | 70.00 | 18.70 |
| X7 | 6.29 | 20.00 | 9.10 | 6.22 | 21.00 | 10.50 | 5.94 | 21.00 | 11.60 | 6.04 | 22.00 | 13.10 | 6.09 | 22.00 | 13.00 | 5.91 | 25.00 | 18.50 |
| X8 | 5.61 | 53.00 | 15.10 | 5.60 | 57.00 | 14.50 | 5.63 | 45.00 | 14.60 | 5.66 | 49.00 | 14.60 | 5.67 | 48.00 | 14.00 | 5.56 | 56.00 | 15.30 |
| X9 | 5.53 | 33.00 | 14.75 | 5.57 | 33.00 | 14.55 | 5.55 | 32.00 | 14.30 | 5.61 | 33.00 | 14.50 | 5.66 | 32.00 | 14.00 | 5.57 | 33.00 | 15.50 |
| X10 | 6.15 | 79.00 | 12.55 | 6.15 | 75.00 | 13.65 | 6.11 | 73.00 | 13.10 | 6.18 | 73.00 | 13.20 | 6.19 | 74.00 | 13.10 | 6.09 | 79.00 | 13.80 |
| X11 | | | | 5.48 | 119.00 | 12.00 | 5.48 | 114.00 | 13.40 | 5.50 | 119.00 | 13.20 | 5.54 | 115.00 | 12.50 | 5.45 | 116.00 | 13.80 |
| X12 | | | | | | | 6.02 | 22.00 | 13.40 | 6.11 | 23.00 | 14.20 | 6.01 | 26.00 | 14.60 | 6.03 | 26.00 | 15.60 |

Tabela VI- Valores de alcalinidade (mg/LCaCO₃) e dureza (mg/LCaCO₃)

| Amostras | Alcalinidade total | Dureza | Amostras | Alcalinidade total | Dureza |
|----------|--------------------|--------|----------|--------------------|--------|
| X1 | 17.62 | 20.44 | X7 | 12.52 | 4.59 |
| X2 | 19.5 | 22.44 | X8 | 18.76 | 11.72 |
| X3 | 18.48 | 12.96 | X9 | 13.28 | 6.77 |
| X4 | 20.73 | 8.95 | X10 | 20.32 | 11.31 |
| X5 | 17.12 | 22.56 | X11 | 12.84 | 23.44 |
| X6 | 37.61 | 18.50 | X12 | 12.64 | 7.07 |

Tabela VII– Análise completa da composição química das águas subterrâneas em estudo (a verde estão os elementos determinados nas análises do *Activation Lab* e a azul os elementos determinados no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho; (valores de bicarbonato calculados a partir dos valores de alcalinidade).

| Amostras | Ba (µg/L) | Al (mg/L) | K (mg/L) | Mg (mg/L) | Mn (mg/L) | Si (mg/L) | Ag (µg/L) | As (µg/L) | Be (µg/L) | Bi (µg/L) | Ca (mg/L) | Cd (µg/L) | Ce (µg/L) | Co (µg/L) | Cr (µg/L) | Fe (mg/L) |
|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| X1 | < 20 | < 0.1 | 2.6 | 1.6 | < 0.01 | 9.4 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 4.7 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.07 |
| X2 | 30 | < 0.1 | 3.3 | 1.8 | 0.03 | 6.3 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 5.1 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.02 |
| X3 | < 20 | < 0.1 | 0.7 | 1 | < 0.01 | 8.7 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 3 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | < 0.01 |
| X4 | < 20 | < 0.1 | 0.7 | 0.6 | < 0.01 | 8.6 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 2.2 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.01 |
| X5 | < 20 | < 0.1 | 2.9 | 1.9 | < 0.01 | 8.6 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 5 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.01 |
| X6 | < 20 | < 0.1 | 0.9 | 0.7 | < 0.01 | 13.3 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 5.3 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | < 0.01 |
| X7 | < 20 | < 0.1 | 0.3 | 0.4 | < 0.01 | 7.3 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 1 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | < 0.01 |
| X8 | < 20 | < 0.1 | 0.9 | 0.7 | < 0.01 | 7.7 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 3 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | < 0.01 |
| X9 | < 20 | < 0.1 | 0.4 | 0.5 | < 0.01 | 7.8 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 1.6 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.07 |
| X10 | < 20 | < 0.1 | 6.6 | 1.1 | < 0.01 | 6.5 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 2.3 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.02 |
| X11 | 30 | < 0.1 | 1.7 | 1.9 | 0.01 | 7.9 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 5.3 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.01 |
| X12 | < 20 | < 0.1 | 0.7 | 0.5 | < 0.01 | 8 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 1.7 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.03 |
| Chuva 1 | < 20 | < 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.01 | < 0.1 | < 5 | < 30 | < 2 | < 20 | 1.1 | < 2 | < 30 | < 2 | < 20 | 0.07 |

| Amostras | Cu (µg/L) | Li (mg/L) | Mo (µg/L) | Na (mg/L) | Ni (µg/L) | P (mg/L) | Pb (µg/L) | Sb (µg/L) | S (mg/L) | Se (µg/L) | Sn (µg/L) | Sr (µg/L) | Te (µg/L) | Ti (µg/L) | Tl (µg/L) | U (mg/L) | V (µg/L) | W (µg/L) |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| X1 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 8.6 | < 5 | 0.06 | < 10 | < 10 | 3 | < 20 | < 10 | 40 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X2 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 8.8 | < 5 | < 0.02 | < 10 | < 10 | 1 | < 20 | < 10 | 40 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X3 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 6.7 | < 5 | 0.08 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | 30 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X4 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 6.4 | < 5 | 0.05 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | 20 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X5 | 2 | < 0.05 | < 5 | 10.4 | < 5 | 0.05 | < 10 | < 10 | 3 | < 20 | < 10 | 50 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X6 | 16 | < 0.05 | < 5 | 9.7 | < 5 | 0.12 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | 20 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X7 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 5.9 | < 5 | 0.02 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X8 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 7.6 | < 5 | 0.02 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X9 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 6.2 | < 5 | 0.03 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|--------|-----|-------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|
| X10 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 8.3 | < 5 | 0.15 | < 10 | < 10 | 2 | < 20 | < 10 | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X11 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 12.8 | < 5 | 0.03 | < 10 | < 10 | 1 | < 20 | < 10 | 30 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| X12 | < 2 | < 0.05 | < 5 | 6.4 | < 5 | 0.05 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |
| Chuva 1 | 3 | < 0.05 | < 5 | < 0.1 | < 5 | 0.12 | < 10 | < 10 | < 1 | < 20 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 0.05 | < 10 | < 10 |

| Amostras | Y (µg/L) | Zn (µg/L) | F ⁻ (mg/L) | Cl ⁻ (mg/L) | NO ₂ ⁻ (mg/L) | Br ⁻ (mg/L) | NO ₃ ⁻ (mg/L) | PO ₄ ³⁻ (mg/L) | SO ₄ ²⁻ (mg/L) | HCO ₃ ⁻ (mg/L) |
|----------|-------------|--------------|--------------------------|---------------------------|--|---------------------------|--|---|---|---|
| X1 | < 10 | 26 | < 0.01 | 8.63 | 0.12 | < 0.01 | 13.60 | < 0.03 | 10.27 | 21.50 |
| X2 | < 10 | 10 | < 0.01 | 9.64 | 0.12 | 0.04 | 21.85 | < 0.03 | 4.97 | 23.79 |
| X3 | < 10 | 7 | 0.116 | 6.46 | 0.03 | < 0.01 | 4.09 | 0.06 | 2.78 | 22.55 |
| X4 | < 10 | < 5 | 0.066 | 5.99 | 0.13 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.03 | 0.46 | 25.29 |
| X5 | < 10 | 13 | < 0.01 | 13.67 | < 0.01 | 0.26 | 16.00 | 0.07 | 9.98 | 20.89 |
| X6 | < 10 | 73 | 0.147 | 7.43 | 0.18 | 0.01 | < 0.01 | 0.20 | 1.00 | 45.88 |
| X7 | < 10 | < 5 | 0.042 | 5.67 | 0.15 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.03 | 0.61 | 15.27 |
| X8 | < 10 | < 5 | < 0.01 | 8.40 | 0.13 | < 0.01 | 5.84 | < 0.03 | 2.00 | 22.89 |
| X9 | < 10 | 16 | < 0.01 | 7.12 | 0.19 | 0.02 | 0.22 | < 0.03 | 0.71 | 16.20 |
| X10 | < 10 | < 5 | < 0.01 | 8.04 | 0.12 | 0.02 | 8.82 | 0.19 | 6.51 | 24.79 |
| X11 | < 10 | < 5 | < 0.01 | 15.19 | 0.06 | < 0.01 | 25.94 | < 0.03 | 4.29 | 15.66 |
| X12 | < 10 | 20 | < 0.01 | 5.65 | 0.05 | 0.03 | 0.10 | < 0.03 | 0.39 | 15.42 |
| Chuva 1 | < 10 | 68 | 1.624 | 1.14 | 0.04 | 0.37 | 2.07 | < 0.03 | 1.45 | |

Tabela VIII- Especiação química.

| | X1 | | X2 | | X3 | | X4 | | X5 | | X6 | |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Espécie | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L |
| Al | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | |
| AlOH⁺² | 0.00055 | 29.49 | 0.00053 | 28.74 | 0.00091 | 49 | 0.00071 | 38.36 | 0.00054 | 29.19 | 0.0007 | 38.01 |
| Al(OH)₂⁺ | 0.00048 | 25.82 | 0.00052 | 27.88 | 0.00057 | 30.91 | 0.00055 | 29.56 | 0.00043 | 23.34 | 0.00039 | 21.31 |
| Al⁺³ | 0.00037 | 19.8 | 0.00039 | 21.24 | 0.0002 | 10.79 | 0.00033 | 17.75 | 0.00041 | 22.05 | 0.00029 | 15.55 |
| AlF⁺² | 0.00036 | 19.34 | 0.00034 | 18.38 | 0.00008 | 4.28 | 0.00017 | 8.93 | 0.00037 | 19.91 | 0.00029 | 15.5 |
| Br | 0.00013 | | 0.0005 | | 0.00013 | | 0.00013 | | 0.00325 | | 0.00013 | |
| Br⁻ | 0.00013 | 100 | 0.0005 | 100 | 0.00013 | 100 | 0.00013 | 100 | 0.00325 | 100 | 0.00013 | 100 |
| C(4) | 2.614 | | 4.334 | | 1.315 | | 1.66 | | 2.883 | | 1.445 | |
| CO₂ | 2.261 | 86.5 | 3.941 | 90.93 | 0.9447 | 71.84 | 1.245 | 75 | 2.539 | 88.07 | 0.7485 | 51.8 |
| HCO₃⁻ | 0.3525 | 13.49 | 0.3918 | 9.04 | 0.3694 | 28.09 | 0.4142 | 24.95 | 0.3431 | 11.9 | 0.6946 | 48.07 |
| Ca | 0.1173 | | 0.1273 | | 0.07485 | | 0.05489 | | 0.1248 | | 0.1322 | |
| Ca⁺² | 0.1153 | 98.29 | 0.126 | 98.98 | 0.0743 | 99.27 | 0.05465 | 99.56 | 0.1228 | 98.4 | 0.1312 | 99.24 |
| CaSO₄ | 0.00159 | 1.35 | 0.00085 | 0.67 | 0.0003 | 0.4 | 0.0002 | 0.37 | 0.00162 | 1.3 | 0.00084 | 0.64 |
| Cl | 0.2434 | | 0.2719 | | 0.1822 | | 0.169 | | 0.3856 | | 0.2096 | |
| Cl⁻ | 0.2434 | 100 | 0.2719 | 100 | 0.1822 | 100 | 0.169 | 100 | 0.3856 | 100 | 0.2096 | 100 |
| FeCl⁺ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0.00053 | | 0.00053 | | 0.00632 | | 0.00369 | | 0.00053 | | 0.0079 | |
| AlF⁺² | 0.00036 | 68.07 | 0.00039 | 74.75 | 0.00379 | 60.04 | 0.00184 | 49.85 | 0.00037 | 70.1 | 0.00604 | 76.43 |
| F⁻ | 0.00013 | 24.62 | 0.0001 | 18.97 | 0.00091 | 14.37 | 0.00071 | 19.29 | 0.00012 | 22.91 | 0.0007 | 8.92 |
| AlF₂⁺ | 0.00002 | 3.56 | 0.00002 | 3.05 | 0.00057 | 9.07 | 0.00055 | 14.87 | 0.00002 | 3.4 | 0.00029 | 3.65 |
| Fe(2) | 0.00125 | | 0.00036 | | 0.00018 | | 0.00018 | | 0.00018 | | 0.00018 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Fe⁺² | 0.0012 | 96.01 | 0.00034 | 96.17 | 0.00017 | 96.48 | 0.00017 | 96.31 | 0.00017 | 96.09 | 0.00017 | 93.62 |
| FeHCO₃⁺ | 0.00004 | 2.94 | 0.00001 | 3.27 | 0.00001 | 3.17 | 0.00001 | 3.58 | 0.00001 | 2.83 | 0.00001 | 6.09 |
| Fe(3) | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| Fe(OH)₂⁺ | 0 | 95.94 | 0 | 96.19 | 0 | 92.47 | 0 | 93.51 | 0 | 96.07 | 0 | 83.2 |
| Fe(OH)₃ | 0 | 2.77 | 0 | 1.95 | 0 | 7.05 | 0 | 5.92 | 0 | 2.44 | 0 | 16.63 |
| H(0) | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| H₂ | 0 | 50 | 0 | 50 | 0 | 49.99 | 0 | 49.98 | 0 | 50 | 0 | 49.99 |
| K | 0.0665 | | 0.0844 | | 0.0179 | | 0.0179 | | 0.07417 | | 0.02302 | |
| K⁺ | 0.06646 | 99.94 | 0.08438 | 99.98 | 0.0179 | 100 | 0.0179 | 100 | 0.07413 | 99.95 | 0.02302 | 100 |
| KSO₄⁻ | 0.00003 | 0.05 | 0.00002 | 0.02 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0.00004 | 0.05 | 0 | 0 |
| Mg | 0.06582 | | 0.07404 | | 0.04113 | | 0.02468 | | 0.07816 | | 0.02879 | |
| Mg⁺² | 0.06475 | 98.37 | 0.07328 | 98.97 | 0.04082 | 99.25 | 0.02456 | 99.51 | 0.07693 | 98.43 | 0.02854 | 99.13 |
| MgSO₄ | 0.00084 | 1.28 | 0.00048 | 0.65 | 0.00016 | 0.38 | 0.0001 | 0.42 | 0.00097 | 1.24 | 0.00021 | 0.73 |
| N(3) | 0.00261 | | 0.00261 | | 0.00065 | | 0.00283 | | 0.00022 | | 0.00391 | |
| NO₂⁻ | 0.00261 | 100 | 0.00261 | 100 | 0.00065 | 100 | 0.00283 | 100 | 0.00022 | 100 | 0.00391 | 100 |
| Na | 0.3741 | | 0.3828 | | 0.2914 | | 0.2784 | | 0.4524 | | 0.422 | |
| Na⁺ | 0.3739 | 99.95 | 0.3826 | 99.95 | 0.2914 | 100 | 0.2783 | 99.96 | 0.4521 | 99.93 | 0.4218 | 99.95 |
| NaSO₄⁻ | 0.00016 | 0.04 | 0.00008 | 0.02 | 0.00006 | 0.02 | 0.00006 | 0.02 | 0.00018 | 0.04 | 0.00017 | 0.04 |
| S(6) | 0.1069 | | 0.05174 | | 0.02894 | | 0.00479 | | 0.1039 | | 0.01041 | |
| SO₄⁻² | 0.1042 | 97.47 | 0.05025 | 97.12 | 0.02844 | 98.27 | 0.00473 | 98.77 | 0.101 | 97.21 | 0.01018 | 97.79 |
| CaSO₄ | 0.00159 | 1.48 | 0.00085 | 1.64 | 0.0003 | 1.03 | 0.00004 | 0.77 | 0.00162 | 1.56 | 0.00018 | 1.7 |
| Si | 0.1565 | | 0.1049 | | 0.1448 | | 0.1431 | | 0.1431 | | 0.2214 | |
| H₄SiO₄ | 0.1565 | 100 | 0.1049 | 100 | 0.1448 | 100 | 0.1431 | 100 | 0.1431 | 100 | 0.2213 | 99.95 |
| H₃SiO₄⁻ | 0.00001 | 0 | 0 | 0 | 0.00001 | 0.01 | 0.00001 | 0.01 | 0 | 0 | 0.00006 | 0.03 |
| Zn | 0.00046 | | 0.00015 | | 0.00015 | | | | 0.00015 | | 0.00107 | |
| Zn⁺² | 0.00043 | 94.66 | 0.00015 | 95.03 | 0.00015 | 95.29 | | | 0.00015 | 94.84 | 0.00098 | 91.12 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|------|---------|------|---------|------|--|--|---------|------|---------|------|
| ZnHCO₃⁺ | 0.00002 | 3.64 | 0.00001 | 4.06 | 0.00001 | 3.94 | | | 0.00001 | 3.52 | 0.00008 | 7.46 |
| ZnSO₄ | 0.00001 | 1.56 | 0 | 0.77 | 0 | 0.46 | | | 0 | 1.5 | 0.00001 | 1.14 |

| | X7 | | X8 | | X9 | | X10 | | X11 | | X12 | |
|---------------------------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| Espèce | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L | mol/L | % mol/L |
| Al | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | | 0.00185 | |
| AlOH⁺² | 0.00066 | 35.41 | 0.00055 | 29.59 | 0.00056 | 30.48 | 0.00054 | 29.22 | 0.00054 | 29.22 | 0.00103 | 55.37 |
| Al(OH)₂⁺ | 0.00052 | 27.83 | 0.00055 | 29.54 | 0.00055 | 29.71 | 0.00051 | 27.61 | 0.00051 | 27.61 | 0.00035 | 18.96 |
| Al⁺³ | 0.00028 | 15 | 0.00036 | 19.25 | 0.00036 | 19.18 | 0.00039 | 21.14 | 0.00039 | 21.14 | 0.00018 | 9.78 |
| AlF⁺² | 0.00026 | 13.93 | 0.00035 | 18.73 | 0.00034 | 18.12 | 0.00035 | 18.66 | 0.00035 | 18.66 | 0.00013 | 6.86 |
| Br | 0.00013 | | 0.00013 | | 0.00025 | | 0.00025 | | 0.00013 | | 0.00038 | |
| Br⁻ | 0.00013 | 100 | 0.00013 | 100 | 0.00025 | 100 | 0.00025 | 100 | 0.00013 | 100 | 0.00038 | 100 |
| C(4) | 1.075 | | 3.025 | | 2.113 | | 1.265 | | 2.669 | | 0.8545 | |
| CO₂ | 0.825 | 76.74 | 2.649 | 87.57 | 1.846 | 87.36 | 0.8614 | 68.09 | 2.41 | 90.3 | 0.604 | 70.68 |
| HCO₃⁻ | 0.2498 | 23.24 | 0.3757 | 12.42 | 0.2662 | 12.6 | 0.4034 | 31.89 | 0.2584 | 9.68 | 0.2503 | 29.29 |
| Ca | 0.02495 | | 0.07485 | | 0.03992 | | 0.05739 | | 0.1322 | | 0.04242 | |
| Ca⁺² | 0.02487 | 99.68 | 0.07438 | 99.37 | 0.03978 | 99.65 | 0.05667 | 98.75 | 0.1312 | 99.24 | 0.04229 | 99.69 |
| CaSO₄ | 0.00006 | 0.23 | 0.00026 | 0.35 | 0.0001 | 0.25 | 0.00052 | 0.9 | 0.00075 | 0.57 | 0.0001 | 0.24 |
| Cl | 0.1599 | | 0.2369 | | 0.2008 | | 0.2268 | | 0.4285 | | 0.1594 | |
| Cl⁻ | 0.1599 | 100 | 0.2369 | 100 | 0.2008 | 100 | 0.2268 | 100 | 0.4285 | 100 | 0.1594 | 100 |
| FeCl⁺ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F | 0.00211 | | 0.00053 | | 0.00053 | | 0.00053 | | 0.00053 | | 0.00053 | |
| AlF⁺² | 0.00092 | 43.79 | 0.00036 | 67.76 | 0.00036 | 67.52 | 0.00031 | 58.4 | 0.00039 | 74.41 | 0.0003 | 56.59 |
| F⁻ | 0.00066 | 31.15 | 0.00013 | 24.7 | 0.00013 | 24.81 | 0.00017 | 33.02 | 0.0001 | 19.3 | 0.00018 | 34.42 |
| AlF₂⁺ | 0.00026 | 12.26 | 0.00002 | 3.7 | 0.00002 | 3.77 | 0.00002 | 4.17 | 0.00002 | 3.06 | 0.00002 | 4.4 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Fe(2) | 0.00018 | | 0.00018 | | 0.00125 | | 0.00036 | | 0.00018 | | 0.00054 | |
| Fe⁺² | 0.00017 | 97.65 | 0.00017 | 96.48 | 0.00122 | 97.53 | 0.00034 | 95.84 | 0.00017 | 97.32 | 0.00052 | 97.67 |
| FeHCO₃⁺ | 0 | 2.23 | 0.00001 | 3.22 | 0.00003 | 2.35 | 0.00001 | 3.39 | 0 | 2.17 | 0.00001 | 2.22 |
| Fe(3) | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| Fe(OH)₂⁺ | 0 | 93.93 | 0 | 95.96 | 0 | 95.93 | 0 | 91.42 | 0 | 96.2 | 0 | 91.9 |
| Fe(OH)₃ | 0 | 5.47 | 0 | 2.73 | 0 | 2.8 | 0 | 8.2 | 0 | 1.95 | 0 | 7.68 |
| H(0) | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| H₂ | 0 | 49.98 | 0 | 50.01 | 0 | 49.99 | 0 | 50 | 0 | 49.98 | 0 | 50 |
| K | 0.00767 | | 0.02302 | | 0.01023 | | 0.1688 | | 0.04348 | | 0.0179 | |
| K⁺ | 0.00767 | 99.99 | 0.02302 | 100 | 0.01023 | 100 | 0.1687 | 99.94 | 0.04347 | 99.98 | 0.0179 | 100 |
| KSO₄⁻ | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0.00006 | 0.03 | 0.00001 | 0.02 | 0 | 0 |
| Mg | 0.01645 | | 0.02879 | | 0.02057 | | 0.04525 | | 0.07816 | | 0.02057 | |
| Mg⁺² | 0.0164 | 99.7 | 0.0286 | 99.34 | 0.02049 | 99.61 | 0.04468 | 98.74 | 0.07754 | 99.21 | 0.0205 | 99.66 |
| MgSO₄ | 0.00004 | 0.26 | 0.00011 | 0.37 | 0.00006 | 0.27 | 0.00039 | 0.86 | 0.00042 | 0.54 | 0.00005 | 0.26 |
| N(3) | 0.00326 | | 0.00283 | | 0.00413 | | 0.00261 | | 0.0013 | | 0.00109 | |
| NO₂⁻ | 0.00326 | 100 | 0.00283 | 100 | 0.00413 | 100 | 0.00261 | 100 | 0.0013 | 100 | 0.00109 | 100 |
| Na | 0.2566 | | 0.3306 | | 0.2697 | | 0.3611 | | 0.5568 | | 0.2784 | |
| Na⁺ | 0.2566 | 100 | 0.3305 | 99.97 | 0.2696 | 99.96 | 0.3609 | 99.94 | 0.5566 | 99.96 | 0.2784 | 100 |
| NaSO₄⁻ | 0.00003 | 0.01 | 0.00007 | 0.02 | 0.00004 | 0.01 | 0.0001 | 0.03 | 0.0001 | 0.02 | 0.00004 | 0.01 |
| S(6) | 0.00635 | | 0.02082 | | 0.00739 | | 0.06777 | | 0.04466 | | 0.00406 | |
| SO₄⁻² | 0.0063 | 99.28 | 0.02047 | 98.32 | 0.00731 | 98.9 | 0.0667 | 98.42 | 0.04333 | 97.02 | 0.00402 | 98.92 |
| CaSO₄ | 0.00002 | 0.36 | 0.00022 | 1.04 | 0.00004 | 0.58 | 0.00052 | 0.76 | 0.00075 | 1.68 | 0.00003 | 0.62 |
| Si | 0.1215 | | 0.1282 | | 0.1298 | | 0.1082 | | 0.1315 | | 0.1332 | |
| H₄SiO₄ | 0.1215 | 100 | 0.1282 | 100 | 0.1298 | 100 | 0.1082 | 100 | 0.1315 | 100 | 0.1331 | 99.92 |
| H₃SiO₄⁻ | 0.00001 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00001 | 0.01 | 0 | 0 | 0.00001 | 0.01 |
| Zn | | | | | 0.00031 | | | | | | 0.00031 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|--|---------|-------|--|--|--|--|---------|-------|
| Zn⁺² | | | | | 0.0003 | 96.83 | | | | | 0.0003 | 96.93 |
| ZnHCO₃⁺ | | | | | 0.00001 | 2.93 | | | | | 0.00001 | 2.77 |
| ZnSO₄ | | | | | 0 | 0.12 | | | | | 0 | 0.17 |

Tabela IX- Índice de saturação das espécies minerais.

| Fase mineral | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | Composição química |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| Al(OH) ₃ (a) | -1.38 | -1.74 | -1.37 | -1.21 | -1.5 | -0.63 | Al(OH) ₃ |
| Albite | -4.16 | -5.29 | -4 | -3.91 | -4.4 | -2.06 | NaAlSi ₃ O ₈ |
| Alunite | 1.47 | 0.36 | -1.45 | -2.26 | 1.28 | -1.25 | KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ |
| Anidrite | -3.71 | -3.99 | -4.44 | -5.35 | -3.71 | -4.66 | CaSO ₄ |
| Anortite | -7.82 | -9.18 | -7.19 | -7.2 | -8.21 | -4.27 | CaAl ₂ Si ₂ O ₈ |
| Aragonite | -4.04 | -4.14 | -3.79 | -3.95 | -4.09 | -2.82 | CaCO ₃ |
| Ca-Montmorilonite | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 4 | Ca _{0.165} Al _{2.33} Si _{3.67} O ₁₀ (OH) ₂ |
| Calcite | -3.89 | -3.99 | -3.64 | -3.79 | -3.94 | -2.67 | CaCO ₃ |
| Calcedónia | -0.1 | -0.29 | -0.15 | -0.14 | -0.15 | 0.05 | SiO ₂ |
| Clorite | -29.25 | -31.89 | -26.02 | -27.68 | -29.75 | -20.67 | Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈ |
| Crisotile | -20.5 | -21.72 | -18.61 | -19.78 | -20.68 | -16.23 | Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ |
| CO ₂ (g) | -1.34 | -1.08 | -1.7 | -1.6 | -1.28 | -1.86 | CO ₂ |
| Dolomite | -8.09 | -8.24 | -7.57 | -7.98 | -8.12 | -6.05 | CaMg(CO ₃) ₂ |
| Fe(OH) ₃ | -3.35 | -4.48 | -2.98 | -3.18 | -4.39 | -1.69 | Fe(OH) ₃ |
| Fluorite | -7.04 | -7.25 | -4.3 | -5.05 | -7.09 | -3.65 | CaF ₂ |
| Gibbsite | 1.43 | 1.05 | 1.43 | 1.6 | 1.3 | 2.19 | Al(OH) ₃ |
| Goethite | 2.06 | 1 | 2.49 | 2.24 | 1.05 | 3.73 | FeOOH |
| Gipsite | -3.46 | -3.74 | -4.19 | -5.1 | -3.45 | -4.41 | CaSO ₄ :2H ₂ O |
| H ₂ (g) | -19.24 | -18.82 | -20.02 | -19.9 | -19.1 | -20.92 | H ₂ |
| H ₂ O(g) | -1.86 | -1.81 | -1.82 | -1.85 | -1.83 | -1.86 | H ₂ O |
| Halite | -8.62 | -8.57 | -8.86 | -8.9 | -8.35 | -8.64 | NaCl |
| Hematite | 6.07 | 3.95 | 6.93 | 6.44 | 4.06 | 9.4 | Fe ₂ O ₃ |
| Illite | -0.33 | -2 | -0.45 | -0.17 | -0.8 | 2.5 | K _{0.6} Mg _{0.25} Al _{2.3} Si _{3.5} O ₁₀ (OH) ₂ |
| Jarosite-K | -16.34 | -19.49 | -17.95 | -20.02 | -19.17 | -16.35 | KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ |
| K-feldspato | -2.18 | -3.23 | -2.5 | -2.37 | -2.46 | -0.59 | KAlSi ₃ O ₈ |
| K-mica | 6.22 | 4.42 | 5.9 | 6.36 | 5.69 | 9.33 | KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ |
| Caolinite | 4.37 | 3.22 | 4.26 | 4.62 | 4.02 | 6.19 | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ |
| Melanterite | -7.65 | -8.53 | -9.05 | -9.81 | -8.53 | -9.51 | FeSO ₄ :7H ₂ O |
| O ₂ (g) | -49.13 | -49.36 | -47.07 | -47.7 | -49.13 | -45.78 | O ₂ |
| Quartz | 0.37 | 0.17 | 0.32 | 0.33 | 0.32 | 0.52 | SiO ₂ |
| Sepiolite | -13.55 | -14.76 | -12.43 | -13.15 | -13.78 | -10.45 | Mg ₂ Si ₃ O _{7.5} OH:3H ₂ O |
| Siderite | -3.48 | -4.16 | -3.88 | -3.9 | -4.4 | -3.17 | FeCO ₃ |
| SiO ₂ (a) | -0.98 | -1.17 | -1.03 | -1.03 | -1.03 | -0.83 | SiO ₂ |
| Smithsonite | -4.88 | -5.48 | -4.89 | | -5.42 | -3.36 | ZnCO ₃ |
| Talco | -17.18 | -18.76 | -15.37 | -16.53 | -17.44 | -12.6 | Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ |
| Willemite | -10.6 | -12.42 | -9.88 | | -11.81 | -6.39 | Zn ₂ SiO ₄ |
| Zn(OH) ₂ | -6.68 | -7.58 | -6.37 | | -7.3 | -4.65 | Zn(OH) ₂ |

| Fase mineral | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 | Composição química |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| Al(OH) ₃ (a) | -1.06 | -1.39 | -1.36 | -0.59 | -1.7 | -0.64 | Al(OH) ₃ |
| Albite | -4.04 | -4.6 | -4.63 | -3.42 | -4.72 | -3.4 | NaAlSi ₃ O ₈ |
| Alunite | -1.78 | -0.41 | -1.58 | 2.39 | 0.03 | -1.07 | KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ |
| Anidrite | -5.55 | -4.59 | -5.29 | -4.2 | -4.04 | -5.52 | CaSO ₄ |
| Anortite | -7.43 | -8.17 | -8.36 | -5.87 | -8.84 | -5.96 | CaAl ₂ Si ₂ O ₈ |
| Aragonite | -4.54 | -4.21 | -4.62 | -3.8 | -4.28 | -4.16 | CaCO ₃ |
| Ca-Montmorilonite | 2 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | Ca _{0.165} Al _{2.33} Si _{3.67} O ₁₀ (OH) ₂ |
| Calcite | -4.38 | -4.06 | -4.46 | -3.65 | -4.13 | -4.01 | CaCO ₃ |
| Calcedónia | -0.21 | -0.22 | -0.21 | -0.27 | -0.18 | -0.2 | SiO ₂ |
| Clorite | -28.8 | -31.19 | -31.73 | -23.97 | -31.21 | -25.69 | Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈ |
| Crisotile | -20.65 | -21.73 | -22.08 | -18.34 | -21.33 | -19.32 | Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ |
| CO ₂ (g) | -1.78 | -1.24 | -1.4 | -1.75 | -1.31 | -1.89 | CO ₂ |
| Dolomite | -9 | -8.55 | -9.23 | -7.44 | -8.53 | -8.34 | CaMg(CO ₃) ₂ |
| Fe(OH) ₃ | -3.29 | -4.3 | -3.41 | -2.46 | -4.68 | -2.4 | Fe(OH) ₃ |
| Fluorite | -5.98 | -7.25 | -7.5 | -6.61 | -7.21 | -6.76 | CaF ₂ |
| Gibbsite | 1.75 | 1.4 | 1.43 | 2.21 | 1.11 | 2.15 | Al(OH) ₃ |
| Goethite | 2.14 | 1.21 | 2.09 | 3 | 0.76 | 3.1 | FeOOH |
| Gipsite | -5.3 | -4.34 | -5.04 | -3.95 | -3.79 | -5.27 | CaSO ₄ ·2H ₂ O |
| H ₂ (g) | -19.82 | -19.12 | -19.14 | -20.18 | -18.9 | -20.06 | H ₂ |
| H ₂ O(g) | -1.84 | -1.79 | -1.79 | -1.83 | -1.83 | -1.79 | H ₂ O |
| Halite | -8.96 | -8.69 | -8.85 | -8.67 | -8.21 | -8.93 | NaCl |
| Hematite | 6.24 | 4.38 | 6.14 | 7.95 | 3.48 | 8.15 | Fe ₂ O ₃ |
| Illite | -0.37 | -1.19 | -1.34 | 1.61 | -1.63 | 1.01 | K _{0.6} Mg _{0.25} Al _{2.3} Si _{3.5} O ₁₀ (OH) ₂ |
| Jarosite-K | -20.31 | -20.65 | -19.26 | -14.95 | -20.71 | -17.9 | KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ |
| K-feldspato | -2.84 | -3.06 | -3.35 | -1.03 | -3.1 | -1.89 | KAlSi ₃ O ₈ |
| K-mica | 6.21 | 5.29 | 5.05 | 8.94 | 4.66 | 7.96 | KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂ |
| Caolinite | 4.78 | 4.07 | 4.14 | 5.59 | 3.56 | 5.61 | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ |
| Melanterite | -9.67 | -9.21 | -8.79 | -8.39 | -8.88 | -9.42 | FeSO ₄ ·7H ₂ O |
| O ₂ (g) | -47.83 | -48.46 | -48.46 | -46.89 | -49.52 | -46.67 | O ₂ |
| Quartzo | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.2 | 0.28 | 0.27 | SiO ₂ |
| Sepiolite | -13.86 | -14.67 | -14.89 | -12.44 | -14.28 | -13.02 | Mg ₂ Si ₃ O _{7.5} OH·3H ₂ O |
| Siderite | -4.14 | -4.3 | -3.58 | -3.47 | -4.61 | -3.52 | FeCO ₃ |
| SiO ₂ (a) | -1.1 | -1.09 | -1.09 | -1.15 | -1.07 | -1.07 | SiO ₂ |
| Smithsonite | | | -5.14 | | | -4.7 | ZnCO ₃ |
| Talc | -17.55 | -18.61 | -18.95 | -15.34 | -18.17 | -16.16 | Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ |
| Willemite | | | -10.97 | | | -9.12 | Zn ₂ SiO ₄ |
| Zn(OH) ₂ (e) | | | -6.93 | | | -6.01 | Zn(OH) ₂ |

Tabela X- Matriz de correlação dos elementos, obtida através do software AquaChem.

| | | pH | Ca | Cl | SO₄ | CE | Mg | Na | K | HCO₃ | F | NO₃ | Fe | Si |
|------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|------------------------|----------|-----------------------|-----------|-----------|
| pH | | 1.000 | -0.250 | -0.591 | -0.401 | -0.436 | -0.572 | -0.287 | -0.069 | 0.614 | 0.736 | -0.677 | -0.264 | 0.572 |
| Ca | mg/l | | 1.000 | 0.722 | 0.572 | 0.871 | 0.802 | 0.854 | 0.253 | 0.434 | 0.108 | 0.725 | -0.123 | 0.396 |
| Cl | mg/l | | | 1.000 | 0.600 | 0.882 | 0.851 | 0.909 | 0.326 | -0.132 | -0.367 | 0.868 | -0.162 | -0.081 |
| SO₄ | mg/l | | | | 1.000 | 0.762 | 0.818 | 0.528 | 0.669 | -0.064 | -0.386 | 0.670 | 0.216 | -0.097 |
| CE | uS/cm | | | | | 1.000 | 0.940 | 0.907 | 0.580 | 0.133 | -0.241 | 0.909 | -0.104 | 0.001 |
| Mg | mg/l | | | | | | 1.000 | 0.794 | 0.525 | -0.078 | -0.327 | 0.948 | -0.030 | -0.145 |
| Na | mg/l | | | | | | | 1.000 | 0.354 | 0.198 | -0.103 | 0.799 | -0.226 | 0.207 |
| K | mg/l | | | | | | | | 1.000 | 0.084 | -0.366 | 0.484 | 0.008 | -0.349 |
| HCO₃ | mg/l | | | | | | | | | 1.000 | 0.721 | -0.200 | -0.264 | 0.759 |
| F | mg/l | | | | | | | | | | 1.000 | -0.456 | -0.369 | 0.738 |
| NO₃ | mg/l | | | | | | | | | | | 1.000 | -0.064 | -0.306 |
| Fe | mg/l | | | | | | | | | | | | 1.000 | -0.033 |
| Si | mg/l | | | | | | | | | | | | | 1.000 |

Tabela XI- Dados estatísticos referentes aos parâmetros de campo medidos in situ. (pH - -log da concentração efetiva de H⁺; CE – condutividade elétrica em µS/cm; Temp – temperatura em °C; M – média; Med – mediana; Máx – valor máximo; Min – valor mínimo). * - pontos de medição única; ** - pontos não acessíveis. Os pontos sombreados a azul foram os sujeitos a análise.

| | pH | | | | | Temp | | | | | CE | | | | |
|---------------|------|------|------|------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|----------|
| | M | Med | Máx | Min | Desv Pad | M | Med | Máx | Min | Desv Pad | M | Med | Máx | Min | Desv Pad |
| Pontos | | | | | | | | | | | | | | | |
| YA* | 5.40 | | | | | 9.65 | | | | | 4.00 | | | | |
| YB** | | | | | | | | | | | | | | | |
| YC** | | | | | | | | | | | | | | | |
| YD* | 6,25 | | | | | 9.65 | | | | | 14.00 | | | | |
| YE | 6.50 | 6.56 | 6.64 | 6.28 | 0.15 | 12.56 | 12.00 | 17.70 | 10.10 | 3.10 | 26.40 | 25.00 | 34.00 | 22.00 | 4.83 |
| YF | 6.31 | 6.31 | 6.54 | 6.09 | 0.20 | 12.03 | 12.33 | 13.70 | 9.80 | 1.66 | 56.75 | 58.00 | 58.00 | 53.00 | 2.50 |
| YG | 6.68 | 6.70 | 6.78 | 6.47 | 0.12 | 12.41 | 11.70 | 17.80 | 8.70 | 3.49 | 36.40 | 35.00 | 44.00 | 32.00 | 4.83 |
| YH | 7.04 | 7.10 | 7.25 | 6.80 | 0.18 | 12.54 | 11.90 | 16.00 | 9.55 | 2.23 | 148.14 | 150.00 | 167.00 | 127.00 | 12.35 |
| YI | 6.79 | 6.83 | 7.04 | 6.30 | 0.24 | 12.41 | 11.70 | 18.30 | 9.15 | 3.23 | 89.00 | 69.00 | 219.00 | 41.00 | 65.57 |
| YJ | 6.63 | 6.72 | 6.79 | 6.30 | 0.20 | 12.63 | 10.65 | 18.30 | 9.70 | 3.65 | 117.20 | 76.00 | 283.00 | 47.00 | 97.35 |
| YK | 6.81 | 6.84 | 7.00 | 6.65 | 0.13 | 14.82 | 15.80 | 16.80 | 11.60 | 2.52 | 112.60 | 107.00 | 154.00 | 95.00 | 24.32 |
| YL | 6.81 | 6.74 | 7.18 | 6.73 | 0.25 | 13.78 | 15.70 | 16.80 | 9.15 | 3.41 | 67.00 | 61.00 | 103.00 | 49.00 | 21.21 |
| YM | 6.85 | 6.86 | 6.77 | 6.93 | 0.05 | 11.79 | 11.50 | 16.60 | 8.50 | 2.71 | 41.67 | 39.50 | 55.00 | 34.00 | 8.29 |
| YN | 6.75 | 6.79 | 6.84 | 6.58 | 0.12 | 9.74 | 9.75 | 10.10 | 9.35 | 0.33 | 34.25 | 31.00 | 47.00 | 28.00 | 8.77 |
| YO | 6.72 | 6.90 | 6.97 | 6.10 | 0.41 | 10.01 | 10.08 | 11.00 | 8.90 | 0.90 | 33.50 | 33.50 | 35.00 | 31.00 | 2.38 |
| YP | 7.00 | 7.00 | 7.11 | 6.98 | 0.09 | 11.86 | 11.75 | 14.60 | 9.35 | 2.63 | 55.25 | 53.00 | 67.00 | 48.00 | 8.54 |
| YQ | 7.04 | 7.03 | 7.13 | 6.97 | 0.07 | 11.55 | 11.43 | 14.30 | 9.05 | 2.55 | 56.25 | 53.50 | 69.00 | 49.00 | 9.22 |
| YR | 6.88 | 6.87 | 7.11 | 6.61 | 0.19 | 12.98 | 13.20 | 16.40 | 9.50 | 2.97 | 44.80 | 44.00 | 54.00 | 35.00 | 6.98 |

Tabela XII- Análise dos aniões das águas superficiais, determinados no Laboratório de Águas do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho; (valores de bicarbonato calculados a partir dos valores de alcalinidade).

| Amostras | YR | YI | YM | YK | YH | YN | YJ | YE | YL | YG |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fluoreto (mg/L F ⁻) | 0.005 | 0.014 | 0.005 | 0.005 | 0.055 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| Cloreto (mg/L Cl ⁻) | 8.354 | 44.121 | 7.355 | 22.963 | 16.186 | 6.741 | 50.575 | 6.158 | 6.953 | 14.397 |
| Nitrito (mg/L NO ₂ ⁻) | 0.169 | 0.047 | 0.305 | 0.309 | 0.262 | 0.064 | 1.866 | 0.101 | 0.101 | 0.170 |
| Brometo (mg/L Br ⁻) | 0.016 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.031 | 0.017 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.011 |
| Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻) | 7.073 | 7.014 | 1.306 | 11.341 | 18.885 | 4.282 | 7.891 | 3.801 | 4.949 | 6.508 |
| Fosfato (mg/L PO ₄ ³⁻) | 0.015 | 0.033 | 0.015 | 0.015 | 0.578 | < 0.03 | 0.106 | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| Sulfato (mg/L SO ₄ ²⁻) | 3.805 | 7.254 | 3.058 | 17.398 | 12.742 | 2.622 | 35.374 | 2.543 | 3.495 | 9.204 |
| Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻) | 18.202 | 32.208 | 33.904 | 17.470 | 29.524 | 16.409 | 19.093 | 18.398 | 20.289 | 15.067 |
| Alcalinidade total (mg/L Ca CO ₃) | 14.920 | 26.400 | 27.790 | 14.320 | 24.200 | 13.450 | 15.650 | 15.080 | 16.630 | 12.350 |
| pH | 6.61 | 7.04 | 6.85 | 6.65 | 6.80 | 7.63 | 6.30 | 6.40 | 6.73 | 6.47 |
| Condutividade (µS/cm) | 54 | 219 | 55 | 164 | 167 | 38 | 283 | 34 | 103 | 44 |

Tabela XIII.I- Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, em função dos valores e parâmetros paramétricos do ANEXO 1 para as águas subterrâneas (*valores correspondentes à média dos parâmetros).

| Parâmetros químicos | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | Valor paramétrico | Unidade | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 |
| Antimónio | 5 | µg/l Sb | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Arsénio | 10 | µg/l As | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 |
| Cádmio | 5 | µg/l Cd | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 |
| Crómio | 50 | µg/l Cr | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Cobre | 2 | mg/l Cu | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | 0.002 | 0.016 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 |
| Fluoretos | 1.5 | mg/l F | < 0.01 | < 0.01 | 0.116 | 0.066 | < 0.01 | 0.147 | 0.042 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| Chumbo | 25 | µg/l Pb | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| Níquel | 20 | µg/l Ni | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 |
| Nitratos | 50 | mg/l NO3 | 13.6 | 21.846 | 4.085 | < 0.01 | 16.002 | < 0.01 | < 0.01 | 5.839 | 0.218 | 8.82 | 25.938 | 0.097 |
| Nitritos | 0.5 | mg/l NO2 | 0.115 | 0.119 | 0.029 | 0.125 | < 0.01 | 0.182 | 0.15 | 0.125 | 0.187 | 0.117 | 0.061 | 0.054 |
| Selénio | 10 | µg/l Se | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 | < 20 |
| Alumínio | 200 | µg/l Al | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| Cálcio | - | mg/l Ca | 4.7 | 5.1 | 3 | 2.2 | 5 | 5.3 | 1 | 3 | 1.6 | 2.3 | 5.3 | 1.7 |
| Cloretos | 250 | mg/L Cl | 8.626 | 9.644 | 6.463 | 5.991 | 13.67 | 7.427 | 5.67 | 8.399 | 7.122 | 8.041 | 15.193 | 5.652 |
| Condutividade* | 2500 | µS/cm a 20° | 88.167 | 67.200 | 47.167 | 43.333 | 111.500 | 78.667 | 21.833 | 51.333 | 32.667 | 75.500 | 116.600 | 24.250 |
| Dureza total | - | mg/l CaCO3 | 20.438 | 22.440 | 12.958 | 8.954 | 22.557 | 18.501 | 4.594 | 11.723 | 6.774 | 11.307 | 23.441 | 7.068 |
| pH* | ≥ 6,5 e ≤ 9 | unidades de pH | 5.640 | 5.780 | 6.005 | 6.028 | 5.668 | 6.720 | 6.082 | 5.622 | 5.582 | 6.145 | 5.490 | 6.043 |
| Ferro | 200 | µg/l Fe | 70 | 20 | < 10 | 10 | 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 70 | 20 | 10 | 30 |
| Magnésio | - | mg/l Mg | 1.6 | 1.8 | 1 | 0.6 | 1.9 | 0.7 | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 1.1 | 1.9 | 0.5 |
| Manganês | 50 | µg/l Mn | < 10 | 30 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 | 10 | < 10 |
| Sulfatos | 250 | mg/L SO4 | 10.271 | 4.969 | 2.775 | 0.463 | 9.980 | 0.998 | 0.612 | 2.000 | 0.714 | 6.507 | 4.288 | 0.387 |
| Sódio | 200 | mg/L Na | 8.6 | 8.8 | 6.7 | 6.4 | 10.4 | 9.7 | 5.9 | 7.6 | 6.2 | 8.3 | 12.8 | 6.4 |

Tabela XIII.II - Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, em função dos valores e parâmetros paramétricos do ANEXO 1 para as águas superficiais (*valores correspondentes à média dos parâmetros).

| Parâmetros químicos | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------|----------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | Valor paramétrico | Unidade | YR | YI | YM | YK | YH | YN | YJ | YE | YL | YG |
| Fluoretos | 1.5 | mg/l F | 0.005 | 0.014 | 0.005 | 0.005 | 0.055 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| Nitratos | 50 | mg/l NO3 | 7.073 | 7.014 | 1.306 | 11.341 | 18.885 | 4.282 | 7.891 | 3.801 | 4.949 | 6.508 |
| Nitritos | 0.5 | mg/l NO2 | 0.169 | 0.047 | 0.305 | 0.309 | 0.262 | 0.064 | 1.866 | 0.101 | 0.101 | 0.170 |
| Cloretos | 250 | mg/L Cl | 8.354 | 44.121 | 7.355 | 22.963 | 16.186 | 6.741 | 50.575 | 6.158 | 6.953 | 14.397 |
| Condutividade* | 2500 | µS/cm a 20° | 44.800 | 89.000 | 41.670 | 112.600 | 148.140 | 34.250 | 117.200 | 26.400 | 67.000 | 36.400 |
| pH* | ≥ 6,5 e ≤ 9 | unidades de pH | 6.880 | 6.790 | 6.850 | 6.810 | 7.030 | 6.750 | 6.230 | 6.500 | 6.810 | 6.680 |
| Sulfatos | 250 | mg/L SO4 | 3.805 | 7.254 | 3.058 | 17.398 | 12.742 | 2.622 | 35.374 | 2.543 | 3.495 | 9.204 |

Tabela XIV.I- Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, em função dos valores do ANEXO XV1 para as águas subterrâneas (*valores correspondentes à média dos parâmetros; VMR – valor máximo recomendado, VMA – valor máximo admissível).

| Parâmetros | Unidade | VMR | VMA | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 | X12 |
|--------------------------|---------|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alumínio (Al) | mg/L | 5 | 20 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| Arsénio (As) | mg/L | 0.1 | 10 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 | < 30 |
| Bário (Ba) | mg/L | 1 | < 0.02 | < 0.02 | 0.030 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | 0.030 | < 0.02 |
| Berílio (Be) | mg/L | 0.5 | 1 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 |
| Cádmio (Cd) | mg/L | 0.01 | 0.05 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 |
| Chumbo (Pb) | mg/L | 5 | 20 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| Cloretos (Cl) | mg/L | 70 | | 8.626 | 9.644 | 6.463 | 5.991 | 13.670 | 7.427 | 5.670 | 8.399 | 7.122 | 8.041 | 15.193 | 5.652 |
| Cobalto (Co) | mg/L | 0.05 | 10 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 |
| Cobre (Cu) | mg/L | 0.2 | 5 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | 0.002 | 0.016 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 | < 0.002 |
| Crómio total (Cr) | mg/L | 0.1 | 20 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 |
| Estanho (Sn) | mg/L | 2 | | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| Ferro (Fe) | mg/L | 5 | | 0.070 | 0.020 | < 0.01 | 0.010 | 0.010 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | 0.070 | 0.020 | 0.010 | 0.030 |
| Flúor (F) | mg/L | 1 | 15 | < 0.01 | < 0.01 | 0.116 | 0.066 | < 0.01 | 0.147 | 0.042 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 |
| Lítio (Li) | mg/L | 2.5 | 5.8 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Manganês (Mn) | mg/L | 0.2 | 10 | < 0.01 | 0.030 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | < 0.01 | 0.030 | < 0.01 |
| Molibedénio (Mo) | mg/L | 0.005 | 0.05 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 |
| Níquel (Ni) | mg/L | 0.5 | 2 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 | < 0.005 |
| Nitratos (NO3) | mg/L | 20 | | 13.600 | 21.846 | 4.085 | <0.01 | 16.002 | <0.01 | <0.01 | 5.839 | 0.218 | 8.820 | 25.938 | 0.097 |
| Selénio (Se) | mg/L | 0.02 | 0.05 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 | < 0.02 |
| Sulfatos (SO4) | mg/L | 575 | | 10.271 | 4.969 | 2.775 | 0.463 | 9.980 | 0.998 | 0.612 | 2.000 | 0.714 | 6.507 | 4.288 | 0.387 |
| Vanádio (V) | mg/L | 0.1 | 1 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 | < 0.001 |
| Zinco (Zn) | mg/L | 2 | 10 | 0.026 | 0.010 | 0.007 | < 0.005 | 0.013 | 0.073 | < 0.005 | < 0.005 | 0.016 | < 0.005 | < 0.005 | 0.020 |
| pH* | Escala Sorensen | 6.5-8.4 | 4.5-9.0 | 5.640 | 5.780 | 6.005 | 6.028 | 5.668 | 6.720 | 6.082 | 5.622 | 5.582 | 6.145 | 5.490 | 6.043 |

Tabela XIV.II- Comparação dos valores obtidos com os valores estipulados no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, em função dos valores do ANEXO XV1 para as águas superficiais (*valores correspondentes à média dos parâmetro; ** valores apresentados correspondem aos valores de fluoretos; VMR – valor máximo recomendado, VMA – valor máximo admissível).

| Parâmetros | Unidades | VMR | VMA | YR | YI | YM | YK | YH | YN | YJ | YE | YL | YG |
|-----------------------|------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Cloretos (Cl) | mg/L | 70 | | 8.354 | 44.121 | 7.355 | 22.963 | 16.186 | 6.741 | 50.575 | 6.158 | 6.953 | 14.397 |
| Flúor (F)** | mg/L | 1 | 15 | 0.010 | 0.014 | 0.010 | 0.005 | 0.055 | 0.010 | 0.005 | 0.0100 | 0.01 | 0.005 |
| Nitratos (NO3) | mg/L | 20 | | 7.073 | 7.014 | 1.306 | 11.341 | 18.885 | 4.282 | 7.891 | 3.801 | 4.949 | 6.508 |
| Sulfatos (SO4) | mg/L | 575 | | 3.805 | 7.254 | 3.058 | 17.398 | 12.742 | 2.622 | 35.374 | 2.543 | 3.495 | 9.204 |
| pH* | Escala Sorensen | 6.5-8.4 | 4.5-9.0 | 6.880 | 6.790 | 6.850 | 6.810 | 7.030 | 6.750 | 6.230 | 6.500 | 6.810 | 6.680 |

